

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2012

Radek Beneš

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra Elektroenergetiky

Selektivita jištění elektrozařízení povrchového lomu.
Protection selectivity of Power Equipment.

Zadání bakalářské práce

Student: **Radek Beneš**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Selektivita jištění elektrozařízení povrchového lomu**
Protection Selectivity of Power Equipment

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor ochrany a jištění
2. Popis elektrozařízení povrchového lomu
3. Nastavení ochrany pro chránění elektrozařízení povrchového lomu
4. Kontrola selektivity jištění elektrozařízení
5. Zhodnocení výsledků

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Janíček, F., Chladný, V. a kol.: Digitální ochrany v elektrizační soustavě. STU Bratislava, 2004.
2. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Skripta VŠB Ostrava, 2008.
3. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
4. Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích. Skriptum VUT Brno, 1985.
5. ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách. Květen 2002.
6. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
7. Firemní literatura a katalogy.

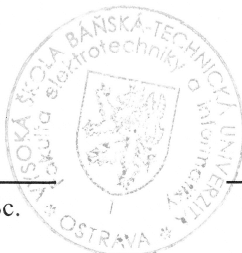
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr.Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 26.4.2012

Podpis.....

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Dr. Ing. Zdenku Medvecovi za odbornou pomoc, připomínky a cenné rady při zpracovávání bakalářské práce.

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá historickým vývojem ochran, jištěním vn. rozvodů elektrické energie, tříděním ochran, požadavky kladenými na ochrany a základními členy ochran. Výpočtem zkratových proudů a selektivitou jištění pro velkostroj K 10000 napájeného volným vedením 35kV č. V3532 z trafostanice TR1, dále kabelovým vedením 35kV z mobilní rozvodny DT 76.

V první části je popsán historický vývoj ochran, jištění vn. rozvodů elektrické energie, tříděním ochran, požadavky kladenými na ochrany a základními členy ochran.

V druhé části je popsán zkrat, druhy zkratů a teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů.

V třetí části práce je popsáno vybavení kobky č.32 která napájí volné vedení V3532 a mobilní rozvodny DT 76 z které je napájen velkostroj K 10000 kabelovým vedením 35kV.

Ve čtvrté části jsou uvedeny parametry volného vedení, kabelového vedení také napájecího transformátoru na TR1 a napájených transformátoru na velkstroji K10000.

Dále se v práci zabývám výpočtem zkratových proudů, nastavením ochran a selektivitou jištění pro výše uvedený velkostroj.

Klíčová slova:

Vn ochrany a jištění, zkrat, selektivita, transformátor, volné vedení, kabelové vedení, kobka 35kV, mobilní rozvodna 35kV, velkostroj K10000.

Abstract:

This final thesis deals with the historical development of protection, high voltage circuit breakers, distribution of electricity, sorting protections, requirements on the protection and basic protections members. It also deals with calculation of short-circuit currents and selectivity for the protection of K 10000 giant machine powered by free guidance 35kV substation No. V3532 from TR1, further guidance 35kV cable from the mobile substation DT 76.

The first part describes the historical development of protection of external high voltage lines and distribution of electricity, protection division and requirements for protection and basic protections members.

In the second part, there is described a short circuit, types of short circuits and a theoretical analysis of the calculation of short circuit currents.

In the third part of the work, I have described No. 32 dungeon equipment that supplies power to free guidance and V3532 mobile substation from DT 76 which is powered by a K 10000 machine 35kV cable line.

The fourth section lists the parameters of free lines, wiring a power transformer to transformer TR1 and the giant machines powered K10000 as well as calculation of short circuit currents and selectivity of protection for the above giant machine.

Keyword:

MV protection and protection, short circuit, selectivity, transformer, free lines, cable lines, cell 35kV, 35kV substation mobile, giant machine K10000, relay

Seznam použitých zkratk a symbolů:

TR1	Trafostanice č.1
DT76	Mobilní stanice
ES	Elektrická soustava
PT	Pomocný transformátor
Δt	Stupeň časové selektivity
K	Nastavitelná citlivost měřicího členu
T	Doba periody měřené veličiny $x(t)$
$x(t)$	Měřená veličina (proudu nebo napětí)
N	Měrná hodnota
S	Nařízená hodnota
δ	Relativní chyba
$t_{v(n-1)}$	Doba vypnutí vypínače předcházejícího (n-1) úseku
$t_{r(n-1)}$	Celková absolutní největší kladná chyba časového článku ochrany předcházejícího úseku
t_m	Celková absolutní nejvyšší záporná chyba časového článku následující ochrany
t_z	Záložní čas (zahrnuje nepřesnosti předcházejících činitelů)
K	Nastavitelná citlivost měřicího členu
T	Doba periody měřené veličiny $x(t)$
$x(t)$	Měřená veličina (proudu nebo napětí)
k_l	Součinitel rázového zkratového proudu
U_n	Jmenovité sdružené napětí sítě v místě zkratu
c	Napěťový součinitel
$Z_{(1)}$	Výsledná sousledná impedance zkratového obvodu
$Z_{(2)}$	Výsledná zpětná impedance zkratového obvodu
$Z_{(0)}$	Výsledná nulová impedance zkratového obvodu
I_n	Jmenovitý proud
U_n	Jmenovité napětí
U_{pn}	Jmenovité napájecí napětí
f_n	Jmenovitý kmitočet
I_x	Trvalá přetížitelnost
I_{th}	Tepelná přetížitelnost
I_k	Ustálený zkratový proud
I_k''	Počáteční souměrný rázový proud
I_b	Souměrný vypínací zkratový proud
c	Napěťový součinitel
S_k''	Počáteční souměrný rázový zkratový výkon
f	Jmenovitý kmitočet
k_l	Součinitel rázového zkratového proudu;
$Z_{(1)}$	Výsledná sousledná impedance zkratového obvodu
$Z_{(2)}$	Výsledná zpětná impedance zkratového obvodu
$Z_{(0)}$	Výsledná nulová impedance zkratového obvodu
S_{nT}	Jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru
u_k	Jmenovité napětí nakrátko
R_k	Rezistence vedení délky 1km
X_k	Reakce vedení délky 1km
l	Délka vedení

Obsah:

1. ÚVOD.	1
2. Ochrany a jištění.	2
2.1.Historie.	2-4
2.2.Poruchové stavy.	4-6
2.3.Teoretický rozbor ochran a jištění.	6-8
2.4.Třídění ochran.	8-9
2.5.Požadavky na ochrany.	9-10
2.6.Základní členy ochran.	11-13
2.7.Teorie chránění.	13-14
2.8.Technická data pro výpočet nastavení ochran.	15-16
2.9.Chránění kabelových vedení.	16
3. Zkrat.	17
3.1.Teoretický rozbor zkratů.	17
3.2.Definice základních pojmů.	17-18
3.3.Druhy zkratů.	18-20
3.4.Průběh zkratového proudu.	20-22
3.5.Stanovení základních předpokladů pro výpočet zkratů.	22-23
3.6.Výpočet zkratových poměrů.	23-26
4. Popis elektrozařízení povrchového dolu Bílina a.s.	26
4.1.Základní popis.	26
4.2.Napěťové soustavy rozvodny R2.	27
4.3.Ochrana živých a neživých částí.	27
4.4.Vyzbrojení kobky R2-3532.	27-35
4.5.Vyzbrojení mobilní rozvodny DT 76.	36-40
4.6.Parametry volného vedení.	41
4.7.Parametry kabelového vedení.	41
4.8.Výpočet zkratových proudů.	41-43
4.9.Výsledky výpočtů.	43
4.10.Nastavení zkratového proudu na ochraně REF 545.	43
4.11.Nastavení zkratového proudu na ochraně REX 521.	43
5.1.Závěr.	44

1.Úvod

Poruchy vznikají v jednotlivých prvcích elektrizační soustavy zpravidla nahodile. Úkolem ochran je jejich rychlá likvidace. Musí rozlišit, zda jde o poruchu např. zkrat či přetížení anebo o normální přípustný stav. V případě poruchy uvnitř chráněného objektu musí zajistit její odstranění např. vypnutí, snížení zatížení, odbuzení synchronního stroje apod.

S příchodem elektrických zařízení vn se objevily první problémy při jejich provozu, které měly za následek poškození vodičů a často jejich přetavení. Nejčastějším problémem je elektrický zkrat, kdy jde o oteplení elektrického zařízení, které vede až k jeho poškození. K poškození elektrozařízení dochází také při tepelném přetěžování zařízení tedy při nedodržování dovoleného zatížení. Nutnost ochrany těchto zařízení vedlo k vytvoření prvních ochranných prvků, které prošly více jak stoletým vývojem.

Základní úkolem chránění elektrických zařízení vn je zabránit a zabezpečit elektrické zařízení před takovým oteplením, které by vedlo k jeho poškození. Oteplení nezpůsobuje jen procházející proud, ale také vlivy okolního prostředí, které může zařízení ochlazovat, nebo ještě více oteplovat. Proto jsou při nastavování ochran důležité i informace o provozu zařízení, o jeho stavu, o nastavení ochran nadřazených rozvodů.

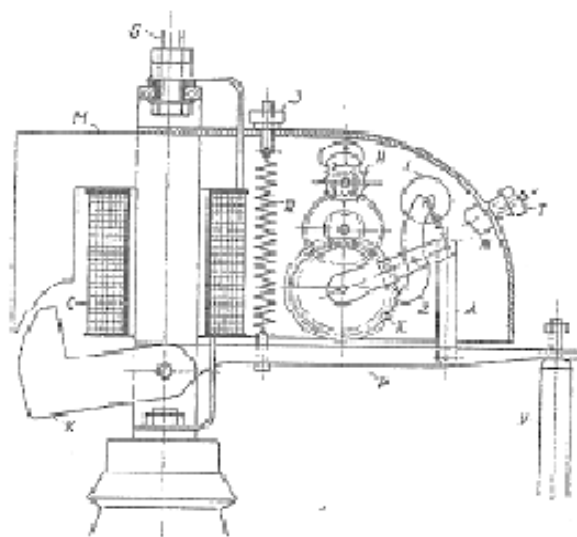
Tématem bakalářské práce je nastavení ochran pro chránění elektrozařízení povrchového lomu a kontrola selektivity jištění elektrozařízení.

2. Ochrany a jištění

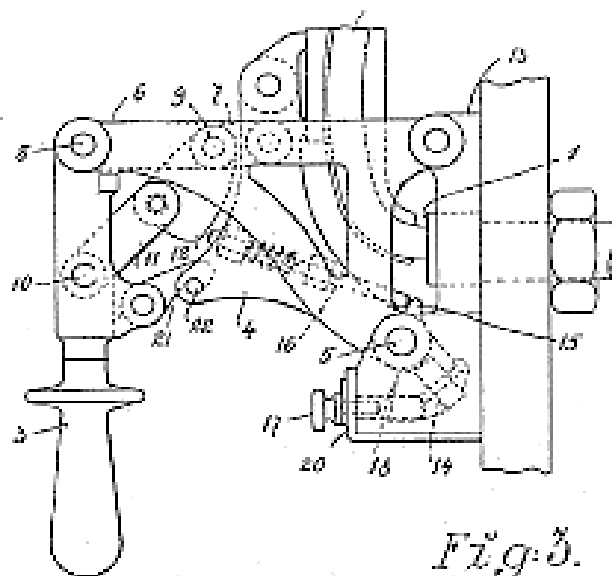
2.1. Historie

V druhé polovině 19. století začínají vznikat první místní a závodní elektrárny, které dodávají elektrickou energii i svým obcím. Začínají vznikat i první elektrárenské společnosti, které elektřinu prodávali. Zpočátku byly tyto elektrárny jednosměrné. V osmdesátých letech 19. století se začíná užívat střídavého proudu. Na našem území první takovou elektrárnou byla pražská elektrárna v Holešovicích.

S přenosy elektrické energie vysokého napětí se objevily první problémy. Jedním z těchto problémů byl elektrický zkrat, při kterém docházelo k poškození vodičů jejich přetavením, a na jejich ochranu byl vytvořen první ochranný prvek - **tavná pojistka**. Tavná pojistka byla později nahrazena **elektromagnetickým primárním proudovým relé**. Tyto prvky chránění prošly do dnešní doby více jak stoletým vývojem a mají stále své opodstatnění. V devadesátých letech 19. Století se tato elektromagnetická **primární proudová relé** pevně připojovala na výkonové vypínače přímo na potenciálu vysokého napětí (obr. 2.1). Jednalo se o olejové – kotlové vypínače vn. Elektromagnetické relé se spínalo při průchodu poruchovým proudem. Cívka přitáhla a tím uvolnila západku která umožnila vypnutí vypínače (obr.2.2). Ochrana se musela vždy znovu uvést do původního stavu. Tento typ ochrany měl několik nevýhod jako: malou citlivost, omezenou nastavitelnost a vysoké požadavky na izolaci. Mezi výhody patřila takřka nezničitelnost a malé výrobní náklady. Později se objevují první proudová **disková indukční relé**. Nejdříve se jednalo o **mžiková relé** a pak **relé s časovým zpožděním**, která se už neobešla bez měřících transformátorů. Po roce 1910 se začínají používat první **distanční a směrová relé**, která byla konstruována na indukčním principu. V letech 1924 se začínají používat **srovnávací ochrany**.



Obr. 2.1 Primární nadproudová ochrana



Nadproudový vypínací přístroj z roku 1900

Obr. 2.2

Konstrukce těchto ochranných relé se ubírala několika směry. Ochranná relé se zapojovala do stavebnicového systému (měřicí články byly jednofázové bez časového členu, k nim se připojovaly časová relé a vypínací relé). Tento ochranný systém měl výhodu v tom, že popudové články mohly být stejné pro nadproudové, diferenciální i distanční ochrany. Tento systém využívala hlavně firma Siemens. Firma Křižík u nás šla jiným směrem. Její ochranné relé bylo vícefázové a mělo svůj časový člen a silové vypínací relé, vše se nacházelo v jednom pouzdru.

Ve dvacátých letech 20. století až do roku 1945 se většina ochranných relé dovážela ze zahraničí od firem AEG, Westinghaus, BBC, Siemens. Česká firma Křižík (Českomoravské strojírny – ČMS) vyvíjela své vlastní ochrany a ve velkém vyvážela ochrany vyráběné v licenci Firmy Westinghaus.

Do roku 1945 se většinou používala relé těchto firem

Firma Křižík:

- proudové elektromagnetické relé – typu MJL3 a NTJ
- proudové indukční relé – typu OJT
- diferenciální relé – typu RJJ, RJJ3, RS2J
- napěťové relé – typu OET (přepětíová ochrana), RUF (podpětíová ochrana)
- Ochrany generátoru – relé typu ZWT, ZWTR
- Distanční relé – typu SWJP
- Srovnávací relé – typu SWJP

Firma AEG:

- proudové elektromagnetické relé – typu RSZ3
- Distanční relé – SD1, SD2, SD4, amd4
- Proudové relé – typu RSZ3f
- Diferenciální relé – typu QS2
- Napěťové relé – typu R4 (ochrana před přepětím)
- Srovnávací proudové relé – typu V

Firmy Westinghaus:

- proudové indukční relé – typu CO
- Diferenciální relé – typu CA,
- Distanční relé – typu CZ, HY, HZ, HZC

Firmy BBC:

- proudové relé – typu S
- Směrové proudové relé – typu CE, CR, HR, HRC
- distanční relé - typu LB, LC, LK
- napěťové relé – typu SG (ochrana před přepětím)
- ochrany generátoru – typu CI, CUH, RBG, RBV

Firmy Siemens:

- Proudové relé – typu 3RA4+Rs2
- Směrové proudové relé – typu RW6
- Napěťové relé – typu 3RW4+ RS1 RV5
- Ochrany generátoru – typu RW7
- Distanční relé – typu RZ1 a RZ4
- Srovnávací proudové relé – typu RA2, RW10

Po roce 1945 se jednalo hlavně o obnovu válkou zničených sítí, elektráren a průmyslových podniků. Dlouho se využívaly pro obnovu válečné zásoby a v době po roce 1948 se k nám ochrany vyrobené v západní Evropě dostaly jen v rámci ucelených dodávek průmyslových zařízení. Po roce 1946 se firma Křižík přestěhovala do Trutnova a po roce 1958 byla přejmenována na ZTP Trutnov (Závody průmyslové automatizace). Firma ČMS (Českomoravské strojírny) se změnila na ČKD národní podnik a i firma Křižík se stala národním podnikem ZTP Trutnov.

S rozvojem polovodičů v šedesátých letech minulého století, se vyvíjí **analogové statické ochrany**, které se v praxi neosvědčily. Nekvalitní součástky používané na jejich výrobu ovlivňovaly nepříznivě jejich přesnost. Docházelo za provozu ke změnám parametrů.

Po roce 1980 začínají na trh přicházet nové **mikroprocesorové ochrany**.

Změna politického systému u nás otevřela pro zahraniční firmy jako je ABB, AEG, Schindler, SEL, Siemens atd. Firmu Trutnov z části kupuje ABB a firma Siemens. Část firmy zůstává v českém vlastnictví a vyrábí elektroměry atd. Současně vzniká několik malých firem, které stále vyrábí elektromechanické ochrany, o které je stále zájem, doplněných o nové prvky.

2.2. Poruchové stavy

Poruchové stavy v elektrizační soustavě ohrožují bezpečnost provozu, dochází k poškození elektrických zařízení. Nejčastějším poruchovým stavem, který ohrožuje elektrická zařízení, je:

- **zkrat** – jde o vzájemné propojení dvou nebo tří fází a také propojení jedné fáze se zemí v síti s přímo uzemněným uzlem, nebo uzlem nepřímo uzemněným pomocí rezistoru. Při přímém vodivém spojení pólů zdroje, kdy je procházejícímu proudu kladen velmi malý odpor, velikost proudu může být vysoká a ve vodiči vzniká velké teplo.

Důsledkem je:

- zvýšené tepelné i silové namáhání elektrických vedení, spotřebičů i ostatních rozvodových zařízení což vede k deformacím vinutí elektrických strojů, poškození vodičů, přípojníc rozveden;
- pokles napětí nepřímo úměrný elektrické vzdálenosti od místa zkratu.

Zkrat může být způsoben únavou izolace, vlivem počasí, mechanickým poškozením zařízení nebo jeho špatnou obsluhou. V důsledku dochází ke snížení činného výkonu a následně ke ztrátě stability synchronních generátorů, asynchronního chodu elektrické soustavy až k jejímu případnému rozpadu.

- **zemní spojení** – je jednofázová porucha elektrické sítě, kde uzel sítě není přímo uzemněn. Zpravidla se jedná o síť s izolovaným uzlem nebo o síť s uzlem neúčinně izolovaným. U sítě s uzlem uzemněným přes zhášecí tlumivky dochází ke kompenzaci zemního kapacitního proudu a místem zemního spojení protéká jen zbytkový proud. Pak při jednofázové poruše nedochází k vypínání vedení s jednofázovou poruchou a toto vedení je možno provozovat delší dobu.

Důsledkem je:

- vznik nebezpečných přepětí při přerušovaném zemním spojení;
- možnost vzniku následného zkratu.

- **přetížení** – jde o zatěžování vodičů a elektrických zařízení proudem vyšším než na které jsou dimenzovány. Krátkodobé zatížení nemusí vést k poruše vedení a elektrických zařízení. Dlouhodobé zatížení tyto poruchy způsobí vždy. Přepětí mohou být *atmosférická*, která vznikají úderem blesku do vedení nebo některých elektrických zařízení. Přepětí *provozní* vznikají spínacími pochody v obvodech s velkou indukčností nebo kapacitami.

Důsledkem pak bývá:

- zvýšené tepelné namáhání;
- urychlení stárnutí izolací.

- **podpětí** – může být způsobeno poruchou regulace napětí, ale také zastaralými a poddimenzovanými elektrickými zařízeními.

Důsledkem podpětí bývá:

- vznik proudového přetížení;
- výpadek točivých strojů.

- **nesouměrné zatížení** – je provozní stav kdy, ve vícefázové elektrické soustavě jsou jednotlivé fáze nestejnoměrně zatěžovány, tj. elektrický výkon dodávaný jednotlivými fázemi není stejný. Jednotlivé fáze statoru alternátoru (motoru) jsou pak zatěžovány nestejnoměrně. V rotorech vznikají vířivé proudy, jejichž průchodem se rotor může nebezpečně zahřívat. Tyto proudy jsou způsobovány zpětnou složkou proudu i_2 , která vytváří magnetické pole otáčející s dvojnásobnou rychlostí rotoru (v opačném smyslu). Nesouměrnost zatížení může být způsobena i přerušením některé z fází.

Důsledkem vzniku nesouměrného zatížení je:

- přehřátí motoru.

- **zvýšení kmitočtu** – jde o poruchy regulace výkonu.

Důsledkem je:

- působí mechanické poškození připojených strojů i na chráněné zařízení.

- **snížení kmitočtu** – dochází k němu při přetížení zdrojů energie v síti.

Důsledkem je:

- zvětšení ztrát a oteplení.

- **zpětný tok výkonu** – jde o ztrátu výkonu pohonu nebo o špatnou energetickou bilanci sítě.

2.3. **Teoretický rozbor ochran a jištění**

Ochrany - jsou taková zařízení, která kontrolují bezpečnost a spolehlivost částí energetických systémů. Pomocí různých čidel jsou získávány informace o stavu chráněného zařízení. Ochrana musí rozlišit, zda je chráněné zařízení v normálním provozu nebo zda jde o poruchu. Jde o takzvanou citlivost ochran. Oblasti chránění musí být stanoveny tak, aby nevznikl nechráněný úsek ES a sousední oblasti se překrývaly.

Ochrany elektrických zařízení musí plnit tyto funkce:

- spolehlivě určit poruchu nebo překročení meze normálního provozu;
- vypnout je tak aby nedošlo k poškození elektrických zařízení a zajistila se ochrana osob;
- snížit riziko požáru při přehřátí elektrického zařízení;
- zajistit aby se porucha nerozšířila na další prvky ES.

Pro správné nastavení ochran slouží výpočty a měření hodnot poruchových veličin např. (proudu, napětí, impedance apod.) pro všechny pravděpodobně možné provozní stavy a zapojení sítí.

Spolehlivost a bezpečnou funkci systémů ochran zabezpečíme:

- analýzou provozních stavů (poruchových i bezporuchových);
- selektivitou systému ochrany;
- výběrem vhodných charakteristik pro prvky systému ochran;
- zálohováním;
- měřením a výpočty potřebných parametrů pro prvky ochran chráněného zařízení;
- výběrem konstrukčních prvků ochran, jakostí montáže a zkoušek

Ochrany by z hlediska spolehlivosti měly rozeznat:

- normální provozní podmínky;
- neobvyklé provozní podmínky;
- poruchový stav.

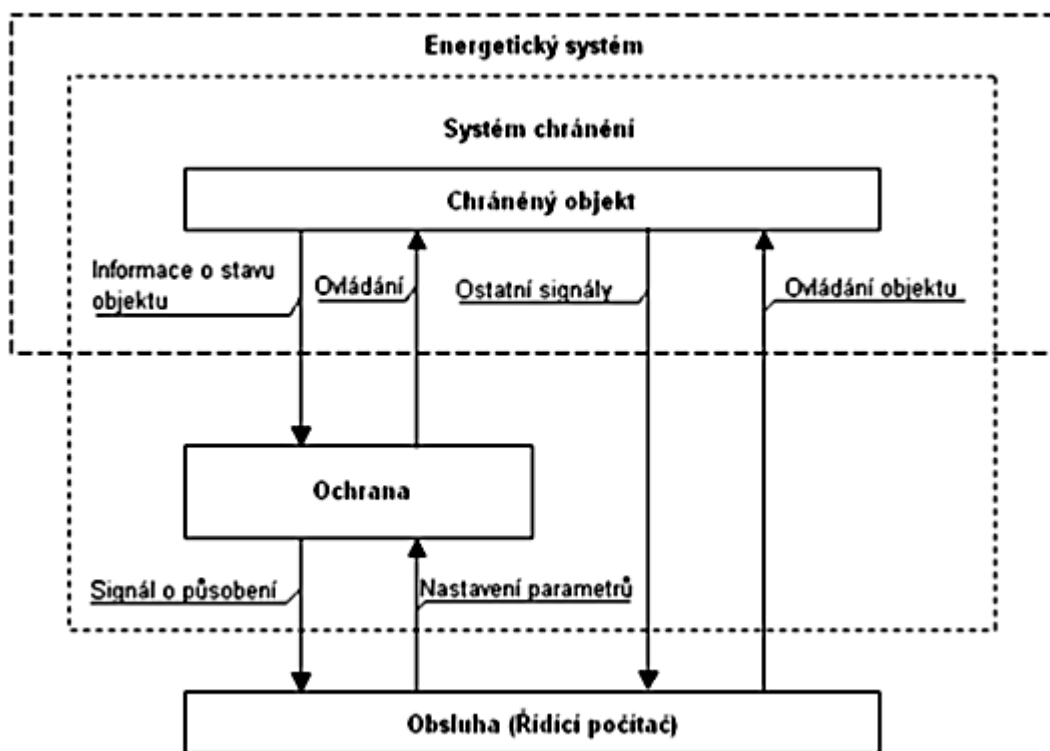
Pro bezpečnou a správnou činnost ochran za normálního provozu, je třeba provádět aspoň jeden z následujících způsobů kontroly:

- trvalá automatická kontrola důležitých obvodů ochrany;
- automatizované funkční zkoušky;
- periodická provozní kontrola.

Informace z takto získaných kontrol se pak využijí pro vyhodnocení činnosti ochran.

Chráněným objektem - je zařízení, které přenáší energii v rámci svého okolí. Okamžitou funkci chráněného objektu je možno určit pomocí stavových veličin jako je např. napětí, proud, okamžitý výkon, okamžitý kmitočet. Velikost těchto veličin charakterizuje současné chování objektu. Chráněný objekt je ovládán soustavou zařízení, přes která působí ochrana na objekt např. (vypínače, odbuzovače atd.). Poruchou označujeme takový stav objektu, kde naměřené fyzikální veličiny překračují meze normami daného stavu provozu.

Vazba ochrany a chráněného objektu (obr. 2.3).



Obr.2.3 Vazba ochrany a chráněného objektu

2.4. Třídění ochran

Ochrany si můžeme roztrdit podle různých kritérií.

A. Podle typu chráněného objektu:

- | | |
|--------------------------|------------|
| - generátoru | -motoru |
| - transformátoru | -přípojníc |
| - vedení | -odporníku |
| - kondenzátorová baterie | -kabelu |

B. Druhu poruchy:

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| - zkratová | -podfrekvenční |
| - podpět'ová | -při zemním spojení |
| - přepět'ová | -při nesouměrnosti |
| - nadfrekvenční | -při zpětném toku výkonu |
| - při ztrátě buzení | -na přetížení |

C. Doby působení:

- časově závislé
- časově nezávislé
- mžikové
- časově polozávislé (kombinace s nezávislou)

D. Funkčního principu:

- | | |
|---------------------|-------------|
| - proudová | -napět'ová |
| - distanční | -rozdílová |
| - srovnávací | -wattová |
| - jalová | -frekvenční |
| - při nesouměrnosti | |

E. Konstrukce:

- elektromechanické
- tranzistorové
- číslicové

F. Funkce:

- základní (hlavní ochrana)
- záložní (v případě selhání základní ochrany)

G. Připojení k chráněnému objektu:

- primární (bez přístrojových transformátorů)
- sekundární (připojena k zařízení přes přístrojové transformátory nebo senzory).

2.1. Požadavky na ochrany

Spolehlivost funkce ochrany- Základní funkcí ochran je vykonávat požadovanou činnost za daných podmínek a v daném časovém limitu, tj. že nebude v poruše, ani nadbytečně působit.

Odolnost ochrany při rušení- Ochranné systémy jsou vystavovány mnoha vlivům prostředí, které je mohou poškodit. Může jít o prašné prostředí, povětrnostní vlivy, otřesy, elektromagnetická pole vznikající při zkratech apod.

Rychlost ochrany- Rychlé vypnutí poruchy šetří elektrozařízení a zvětšuje stabilitu soustavy.

Citlivost ochrany- Citlivost ochrany je mírou schopnosti rozlišit stav, při kterém má působit, do stavu kdy už působit nemá. Určuje se součinitelem citlivosti. Ten se stanovuje individuálně podle druhu a provedení relé. Jde o velikost stavové veličiny, na kterou je ochrana nařízena a při které působí.

Přesnost ochrany- Je stanovena poměrnou chybou citlivosti ochrany vyjádřenou v procentech.

Nařiditelnost ochrany- rozsah všech veličin, na které lze nastavit citlivost ochrany.

Přídržný poměr ochrany- poměr velikosti stavové veličiny při návratu ochrany k velikosti stavové veličiny při rozběhu ochrany.

Rozlišovací schopnost – je schopnost rozeznat dva blízké stavy objektu, které se liší o Δx , z nichž jeden je poruchový a druhý ne. Minimální velikost Δx , kterou ochrana rozliší, se nazývá rozlišovací schopností ochrany.

Doba působení ochrany – časový úsek mezi vznikem poruchy a vybavovacím signálem na výstupu ochrany.

Přetížitelnost ochrany – maximální velikost vstupní veličiny, která působí definovanou dobu a neohrozí životnost ochrany.

Absolutní chyba – je rozdíl mezi skutečnou, teda nařízenou a naměřenou hodnotou.

Zálohování ochran – v případě poruchy hlavní ochrany je třeba zajistit vypnutí záložní ochranou. Ty mohou být:

- a) Místní záložní ochrany pracují na jiném principu než ochrany hlavní, mají samostatné napájení, vypínací obvod je napojen na jinou vypínací cívku. Měřicí obvod má zapojen v jiném místě než hlavní ochrana (je připojena na jiné vynutí PT nebo na jiný PT).
- b) Vzdálené záložní ochrany pracují na stejném principu jako hlavní ochrany se stejnou charakteristikou. Tato ochrana ve svém úseku působí jako hlavní, v dalších jako vedlejší.

U důležitých částí elektrizační soustavy se doporučuje instalovat dvě hlavní ochrany. Záložní ochrany mohou být nižší kvality chránění (delší doba působení, nižší selektivita apod.) než jakou poskytuje hlavní ochrana.

Selektivita ochran – je schopnost ochrany nepůsobit mimo objekt nebo na poruchy dané stavovou veličinou, na kterou ochrana nesmí zapůsobit. Tím to se tak vypíná co nejmenší úsek elektrizační soustavy postižené poruchou, čímž docílíme větší stability elektrizační soustavy.

Selektivitu lze zajistit následujícími způsoby:

- časovým odstupňováním vypínacích časů
- odstupňováním hodnoty nastavené veličiny
- měřením více veličin současně (impedanční ochrany)
- měřením veličiny na více místech (rozdílové a srovnávací ochrany, logické automaty)
- směrovým nastavením ochran

Stanovení stupně časové selektivity mezi jednotlivými ochranami:

$$\Delta t = t_{V(n-1)} + t_{r(n-1)} + t_{rn} + t_z \quad [1]$$

$t_{V(n-1)}$ – doba vypnutí vypínače předcházejícího (n-1) úseku

$t_{r(n-1)}$ – celková absolutní největší kladná chyba časového članku ochrany předcházejícího úseku

t_{rn} – celková absolutní nejvyšší záporná chyba časového članku následující ochrany

t_z – záložní čas (zahrnuje nepřesnosti předcházejících činitelů)

2.2. Základní členy ochran

Ochrana se většinou skládá z těchto základních členů:

1. **Vstupní člen** - převádí vstupní signál na zpracovatelný tvar a úroveň. Jmenovité vstupní hodnoty ochran jsou 100V, (150mV pro senzory) a 5A, 1A, 0,2A. Tyto veličiny jsou přivedeny na vstup ochrany z měřících transformátorů nebo senzoru napětí a proudu a jsou zpracovávány na úroveň ampérů a voltů pro měřící členy ochrany. Digitální ochrany mají vstupní členy tvořeny z A/D převodníky. A/D převodníky provádí vzorkování a následné kvantování vstupního signálu.
2. **Proudový člen** - při vzniku poruchy tento člen dává signál měřicímu členu a logice ochrany. Logika a měřící člen rozhodne, zda ochrana zapůsobí, proud zajistí jen rozběh těchto obvodů. Tento člen má vyšší citlivost než měřící člen.
3. **Měřící člen** - rozhoduje o vyhodnocení poruchy objektu. Na vstup měřícího členu je přiveden stav chráněného objektu. Vymezuje prostor působení ochrany.

Rozlišujeme 6 typů měřících členů:

- **Amplitudový měřící člen:** zjišťuje velikost proudu nebo napětí. Jestliže proud nebo napětí překročí nastavené veličiny, pak ochrana působí. Podle měřené veličiny dále **dělíme tento člen na čtyři typy.**
 - a) Střídavý amplitudový člen na střední hodnotu

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt \quad [2]$$

K – nastavitelná citlivost měřícího členu

T – doba periody měřené veličiny **x(t)**

x(t) – měřená veličina (proudu nebo napětí)

- b) Střídavý amplitudový člen na efektivní hodnotu

$$K^2 = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad [3]$$

- c) Stejnoseměrný amplitudový měřicí člen

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad [4]$$

- d) Amplitudový měřicí člen na maximální hodnotu

$$K = \max[x(t)] \quad [5]$$

- **Závislý měřicí člen:** zjišťuje velikost proudu nebo napětí v závislosti na době trvání poruchy.

Pro $x(t) = x$ konstantní, má rovnice členu tvar:

$$(x - x_\infty)^n \cdot t = K \quad [6]$$

$$t = \infty \quad \text{pro } x \leq x_\infty$$

$$t = \frac{K}{(x - x_\infty)} \quad \text{pro } x > x_\infty$$

- **Rozdílový měřicí článek:** porovnává amplitudu dvou vstupních veličin. Působí, je-li $x_a(t)$ větší než $x_b(t)$ o nastavenou hodnotu K . Pro rozdílový člen na střední hodnotu platí rovnice:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T |x_a(t) - x_b(t)| dt \quad [7]$$

- **Amplitudový komparátor:** je zvláštní typ rozdílového měřicího členu s velkou citlivostí, kde $K \rightarrow 0$. Rovnice tohoto členu je:

$$0 = \frac{1}{T} \int_0^T |x_a(t) - x_b(t)| dt \quad [8]$$

- **Součinový měřící člen:** se používá ve wattových a jalových ochranách má rovnici:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x_a(t) \cdot x_b(t) dt \quad [9]$$

$$\text{Je-li } x_a(t) = u(t) \text{ a } x_b(t) = i(t) \text{ pak} \\ K = P = UI \cos \varphi$$

- **Fázový komparátor:** je součinový člen s citlivostí $K \rightarrow 0$.

- Logika -** zpracovává signál z popudu a určuje funkci měřícího členu. Na základě signálu z měřícího členu pak dává pokyn koncovému členu. Vstupy a výstupy jsou **booleovské funkce**, proto lze strukturu logiky vytvořit jako soustavu tří logických funkcí (součtu, negace a součinu). Lze ji realizovat těmito členy: **klasická pomocná relé, jazýčková relé, tranzistory, diody, integrované obvody nebo software číslicového procesoru.**
- Koncový člen -** upravuje signál logiky tak, aby byl schopen provést vypnutí pomocí vypínače a současně signalizovat poruchu obsluze. Tento signál musí mít dostatečnou úroveň a musí být odolný vůči rušení. Koncové členy jsou většinou tvořeny **pomocnými relé s výkonovými kontakty.**
- Časový člen -** zajišťuje prodloužení doby působení ochrany a je ovládán signálem z logiky ochrany. Používá se z těchto důvodů:
 - Zajištění selektivity (zpoždění ochrany umožní funkci jiné ochrany, která je blíže k poruše)
 - Využití možné akumulace energie (ochrana může umožnit přetížení ale nesmí ohrozit chráněný objekt)
 - Vyloučení chybného působení ochrany, které by mohlo být způsobeno přechodnou poruchou krátkého trvání
- Napájecí člen -** jako zdroj se nejčastěji používá akumulátorová baterie. Napájení může být zajištěno několika způsoby:
 - Ochrany bez napájení (nepotřebují ovládací napětí)
 - Napájení přes stabilizátor
 - Akumulátor umístěný přímo v ochraně
 - Přímé napájení ze staniční baterie
 - Napájení z měřících transformátorů
 - Galvanické oddělení soustavou střídač-usměrňovač
- Filtry souměrných složek –** souměrné složky **proudu a napětí** jsou důležité stavové veličiny, podle jejich velikostí lze určit druh poruchy.

Jmenovité hodnoty ochrany:

- Jmenovitý proud I_n (jmenovitý proud vstupních obvodů z PT. proudu)
- Jmenovité napětí U_n (jmenovité napětí vstupních obvodů z PT. napětí)
- Jmenovité napájecí napětí U_{pn} nejčastěji stejnosměrné.

Rychlé a spolehlivé určení poruchy je podmíněno:

- Popisem chráněného objektu
- Určením charakteristiky chráněného objektu
- Výběrem vhodného rozsahu měření
- Výběrem vhodné logiky vypínání
- Specifikací mezí
 - a) Normálním provozem
 - b) Překročení meze normálního provozu
 - c) Poruchou
- Výběrem vhodné ochrany

2.7. Teorie chránění

Základním úkolem chránění elektrického zařízení je zabránit takovému oteplení tohoto zařízení, které by vedlo k jeho poškození. Oteplení si můžeme rozdělit do dvou skupin.

3.1. Oteplení, při kterém dochází k předčasnému stárnutí izolace. Vzniká při nedodržování dovoleného zatížení.

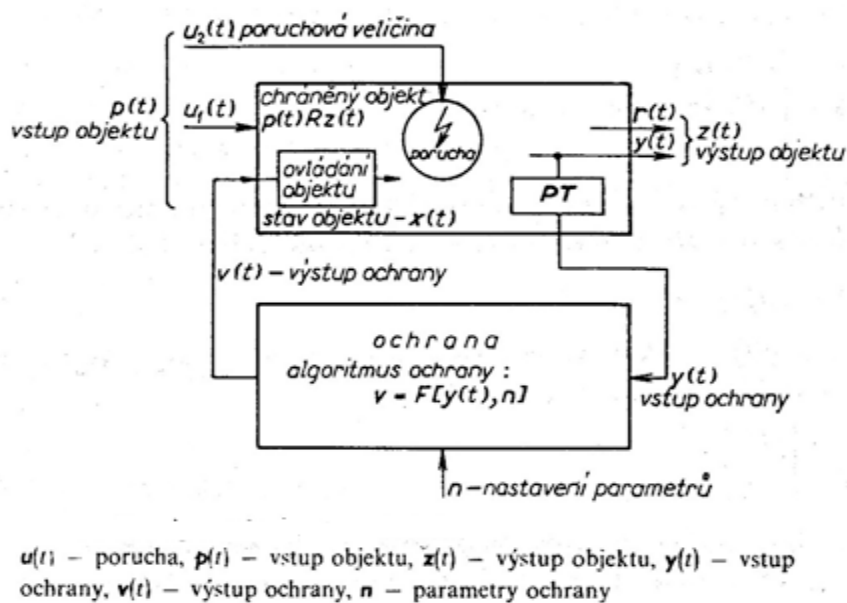
3.2. Oteplení, při kterém dojde k trvalému poškození izolace. Vzniká při elektrickém zkratu.

Informace o provozu zařízení

Na elektrické zařízení působí také jeho okolí a jeho teplota, která může významným způsobem zařízení oteplovat nebo ochlazovat. Zároveň elektrické zařízení zpětně ovlivňuje své okolí (oteplování, požár, výbuch, rušení atd.). Proto při instalaci ochrany jsou důležité informace nejen o zařízení ale i o prostředí, kde se zařízení nachází.

Pro výpočet chránění je také důležité vědět, jak bude zařízení pracovat. Zda jde o zařízení, které se bude používat trvale nebo zařízení, které bude sloužit jako rezerva. Také jestli se jedná o nové zařízení nebo zařízení staré, kde mohlo dojít přetěžování atd. Pro správné nastavení ochrany je také důležité u takového zařízení seznámit se stávajícím systémem ochrany, nastavení ochrany v systému nadřazených rozvodů i rozvodů podřízených.

Vztah mezi chráněným objektem, ochranou a jejím okolím vyjadřuje obrázek 2.4.



Obr.2.4. Princip uzavřené smyčky chránění

2.8. Technická data pro výpočet nastavení ochran

Pro přesný výpočet nastavení ochran jsou důležité přesné vstupní údaje, které udává výrobce (vstupní obvody ochran, napájení, vlastnosti měřících a časových článků ochrany, údaje o výstupních kontaktech a o spolehlivosti ochran).

Výrobce udává obvykle tyto údaje:

Jmenovité hodnoty

Jmenovitý proud (I_n) znamená jmenovitý proud vstupních obvodů ochrany. Obvykle 1A nebo 5A.

Jmenovité napětí (U_n) opět se týká vstupních obvodů ochrany. Obvykle je $U_n = 100$ V.

Jmenovitý kmitočet (f_n) nejčastěji 50Hz nebo 60 Hz.

Jmenovité napájecí napětí (U_{pn}) nejčastější je jednosměrné. Je to řada napájecích napětí 24 V, 48 V, 60 V, 110 V, 220 V.

Vlivem znečištěného prostředí v těžších provozech dochází ke zvětšení přechodového odporu kontaktů. Proto je lépe pro ochrany používat vyšší napájecí napětí než 24 V.

Přetížitelnost

Přetížitelnost vstupních napěťových obvodů udává maximální trvale dovolené napětí na vstupních napěťových obvodech ochrany, obvykle $1,2 U_n$.

Je udávána třemi hodnotami:

Trvalá přetížitelnost (I_x), obvykle $1,2I_n$ nebo $2I_n$

Tepelná přetížitelnost (I_{th}) dovolené přetížení po dobu 1 s. Obvyklé hodnoty 50 nebo $100I_n$.

Spotřeba

Spotřeba ve vstupních obvodech a v obvodu napájecího zařízení.

Nařiditelnost

Rozsah možného nařízení ochrany. Podle typu ochrany a měrné veličiny se pak udává proudová nebo napěťová nařiditelnost, nařiditelnost impedance, fázového úhlu a kmitočtu.

Přesnost

Jde o údaj mezi relativní chybou za vztažných podmínek. Absolutní chyba Δ je rozdíl mezi měřenou a nařízenou hodnotou.

$$\Delta = |N - S| \quad [10]$$

Relativní chyba δ je vyjádřena vztah

$$\delta = \frac{\Delta}{S} \cdot 100(\%) \quad [11]$$

Dále k údajům přesnosti ochrany patří: **přídržný poměr** a **doba působení mžikového článku ochrany**.

Podle výrobce jde vyhledat potřebný výrobek a zjistit i další potřebné údaje v katalogu, které nám zadavatel neposkytl. Potřebujeme znát třeba tyto další údaje:

Zkratové poměry

Zkratové poměry na přípojnici vstupní rozvodny

- maximální $S_{k''_{\max 3 \text{ fázový}}}$ – nebo $I_{k''_{\max 3 \text{ fázový}}}$
- minimální $S_{k''_{\min 3 \text{ fázový}}}$ – nebo $I_{k''_{\min 3 \text{ fázový}}}$

Volná vedení

- typ vodiče (např. AlFe6)
- jeho průřez (např. 95 mm^2)
- délka vedení (např. 1 km)
- způsob provozování (např. paralelní chod)

Kabelová vedení

- typ kabelu
- jeho průřez
- u jednofázových kabelů jejich uspořádání
- počet kabelů na fázi
- délka kabelu
- uložení kabelů podle ČSN
- způsob provozování

Druh soustavy vn

- izolovaná
- přímo uzemněná
- nepřímá uzemněná pomocí tlumivky
- nepřímá uzemněná pomocí odporu

Pro výpočet nastavení zemních ochran

- u kabelových vedení (musíme u všech kabelů provozovaných v dané soustavě uvést typ kabelu, průřez, počet paralelních kabelů a jejich délku)
- u volných vedení uvést typ a délku

Při použití zhašecí tlumivky je třeba znát

- technická data tlumivky (štítkové údaje), jak je momentálně naladěna, zda se připojuje odpor a na jak dlouho.
- velikost U_0 při naladění, při zemním spojení a jak se mění.
- velikost U_0 při připojení odporu

U měřících transformátorů proudu potřebujeme znát

- zda jsou použity stávající MTP (opsat štítek, pokud jsou MTP nové, vyžádat si data od výrobce včetně vnitřního odporu)
- délku, typ kabelu a průřez kabelu mezi MTP a ochranou
- kolik ochran a jiných přístrojů je připojeno na stejné vinutí MTP jako daná ochrana.

U chráněné energetické soustavy potřebujeme znát

- nastavení stávajících ochran v soustavě nad a pod chráněnou soustavou, také typ ochran.
- zda je v napájecí soustavě použito opětovné zapnutí a jeho nastavení (zjistíme u energetického dodavatele, který napájí chráněnou soustavu)
- jednopólové schéma celé chráněné soustavy se zakreslením provozního stavu.
- Jaký je použit typ vypínačů v chráněné soustavě a doba vypnutí.

A další údaje, které se týkají např. transformátorů, motorů, generátorů a dalších elektrotechnických zařízení.

2.9. Chránění kabelových vedení

Hlavní zásady pro volbu chránění

- Jádru jištěného kabelu nemá při nadproudech způsobených přetížením překročit teplotu podle tabulky 43-NA IČSN 33 2000-4-43(1994)
- Jádru jištěného kabelu při zkratu nesmí překročit teplotu podle tabulky 43 A nové normy ČSN 33 2000-4-43 (2003), kde jsou uvedeny pod pojmem – počáteční a konečná teplota.
- V prostředí, kde je stanovena nejvyšší teplota povrchu, povrch jištěného kabelu při nadproudech způsobených přetížením, nebo zkratem nesmí tuto stanovenou teplotu překročit.
- Při normálním provozu jistící prvky nesmí působit nežádoucím způsobem
- Jistící prvky mají odpojit pouze postiženou část vedení, pokud je to možné.
- Každý jistící prvek by měl být zálohován jiným jistícím prvkem (místní a vzdálené zálohování).
- Pro celkový návrh chránění je důležité, zda bude mít chráněné zařízení trvalou obsluhu, řídicí systém, nebo se bude jednat o rozvodnu bez obsluhy.
- Ochrany pro vedení vn předepsané ČSN 33 3051 (1992) najdeme v tabulce č. 10 a č. 11. Výčet platí v plném rozsahu až na distanční, která se v průmyslových podnicích využívá jen zřídka.

Poruchy na vedení vn- závisí na způsobu uzemnění uzlu soustavy.

- Soustavy s přímo uzemněným uzlem – vznikají tyto poruchy: přetížení, zkraty, přerušování vodiče a přepětí.
- Soustavy s izolovaným nebo kompenzovaným uzlem – vznikají tyto poruchy: kromě výše uvedených poruch i zemní spojení.

Dělení ochran na vn vedení

- **Stupňové** – jsou takové ochrany, které ke svému selektivnímu působení potřebují vhodně odstupňované zpoždění. Patří sem ochrany nadproudové ochrany závislé, nezávislé, směrové a distanční.
- **Srovnávací** – využívají princip porovnání stavové veličiny na vstupu a výstupu chráněného objektu. Pokud dojde k poruše okamžitě vypínají bez časového zpoždění.

Nadproudové ochrany

Pracují tak, že při poruše se zvětšuje proud procházející chráněným objektem. Pokud dojde k překročení nastavené hodnoty, dává povel k vypnutí a podle doby působení je dělíme takto:

- a) **Závislá**
- b) **Polozávislá**
- c) **Nezávislá – časová**
- d) **Nezávislá – mžiková**

Závislé ochrany ve většině případů využívají charakteristiky IDMT. Čím vyšší je proud, tím kratší je vypínací čas. Závislé charakteristiky IDMT jsou čtyři – **extrémně závislá, velmi závislá, normálně závislá, dlouhodobě závislá**, vyjádřené normalizovanými křivkami. Vztah mezi proudem a časem v souladu s normami BS 142.1966 a IEC 255-4 je vyjádřen vztahem:

$$t = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I}{I_{>}}\right)^{\alpha} - 1} \quad [12]$$

kde

t - vypínací čas

k – násobící časový faktor

I – měrná hodnota proudu

I_> - nastavená popudová hodnota proudu

α,β - konstanty určující průběh IDMT charakteristiky

Hodnoty konstant α a β

Skupina křivek závislosti Čas/proud	α	β
Normálně závislá	0,02	0,14
Velmi závislá	1,0	13,5
Extrémně závislá	2,0	80,0
Dlouhodobě závislá	1,0	120

Tabulka.2.1. Hodnoty konstant α a β

3. Zkrat

3.2. Teoretický rozbor zkratů

Jedním z nejčastějších elektromagnetických přechodných jevů v elektrizační soustavě je *zkrat*. Místem vzniku zkratu prochází několikanásobně vyšší proud, než jsou jmenovité hodnoty. To je způsobeno výrazným snížením impedance zkratového obvodu. V reálném zkratovém obvodu je vždy nějaký odpor, takže zkratový proud dosáhne konečné velikosti. Napětí v místě zkratu je nepatrné a při dokonalém zkratu teoreticky klesá až na nulu. Celé vnitřní napětí zdroje se spotřebuje na úbytky napětí ve všech částech elektrického zařízení.

3.3. Definice základních pojmů.

- **Zkrat** - vodivé spojení mezi dvěma a více vodivými částmi. Rozdíl elektrických potenciálů mezi těmito částmi je roven nule nebo má hodnotu blízkou nule.
- **Zkratový proud** - nadproud vzniklý v důsledku zkratu.
- **Předpokládaný zkratový proud** - proud, který by protékal obvodem, kdyby byl zkrat nahrazen bez změny napájení ideálním spojením se zanedbatelnou impedancí.
- **Souměrný zkratový proud** - hodnota střídavé souměrné složky zkratového proudu se zanedbatelnou aperiodickou složkou proudu.

- **Počáteční souměrný rázový proud I_k''** - hodnota střídavé souměrné složky zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu, při konstantní impedanci.
- **Stojnosměrná (aperiodická) složka zkratového proudu i_{DC}** - střední hodnota křivky průběhu zkratového proudu klesajícího od počátku k nule.
- **Nárazový zkratový proud i_p** - maximální možná okamžitá hodnota předpokládaného zkratového proudu.
- **Ustálený zkratový proud I_k** - efektivní hodnota zkratového proudu, který zůstává po odeznění přechodného jevu.
- **Souměrný vypínací zkratový proud I_b** - hodnota zkratového proudu po odeznění přechodného jevu.
- **Jmenovité napětí sítě U_n** - sdružené napětí, k němuž se vztahují provozní charakteristiky.
- **Napěťový součinitel c** - poměr mezi napětím ekvivalentního napěťového zdroje a jmenovitým napětím U_n děleným $\sqrt{3}$.
- **Počáteční souměrný rázový zkratový výkon S_k''** - vyjádříme jako součin počátečního rázového zkratového proudu, jmenovitého napětí sítě a součinitele $\sqrt{3}$

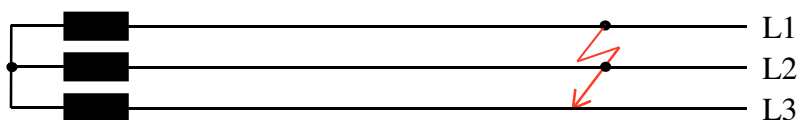
$$S_k'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k'' \quad [13]$$

- **Elektricky vzdálený zkrat** - zkrat, kde velikost souměrné složky zkratového proudu zůstává konstantní.
- **Elektricky blízký zkrat** - zkrat, kde příspěvek aspoň jednoho synchronního stroje k předpokládanému počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu překračuje dvojnásobek jmenovitého proudu stroje a u asynchronních motorů překračuje 5% počátečního souměrného rázového proudu bez motoru.

3.3 Druhy zkratů

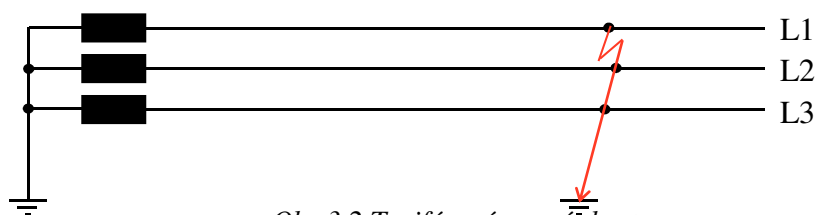
Souměrný zkrat

- **Trojpolový zkrat** - vzniká při spojení všech tří fází elektrizační soustavy v jednom místě. Tento druh zkratu se nejčastěji vyskytuje v kabelových sítích. Dochází k porušení izolaci mezi všemi fázemi a vede často k nejvyšším hodnotám předpokládaného zkratového proudu.



Obr.3.1.Trojpolový zkrat

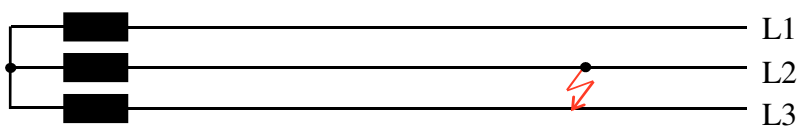
- **Trojfázový zemní zkrat** – jde o spojení všech tří fází navzájem a jejich současným spojením se zemí.



Obr.3.2.Trojfázový zemní zkrat

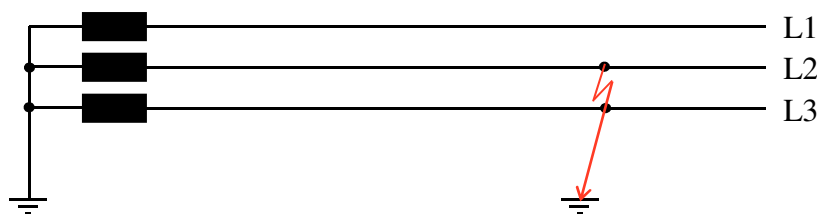
Nesouměrný zkrat

- **Dvojpólový zkrat** - vzniká při spojení dvou fází soustavy v jednom místě.



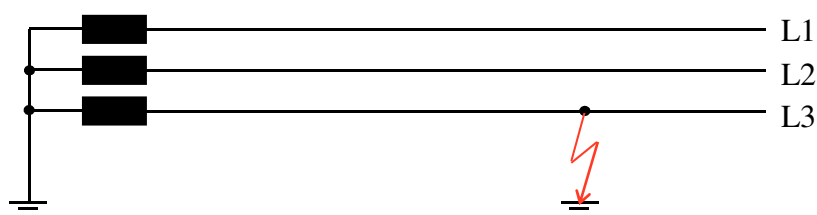
Obr.3.3. Dvojpólový zkrat

- **Dvojpólový zemní zkrat** - vzniká, jsou-li dvě spojené fáze současně spojeny se zemí.



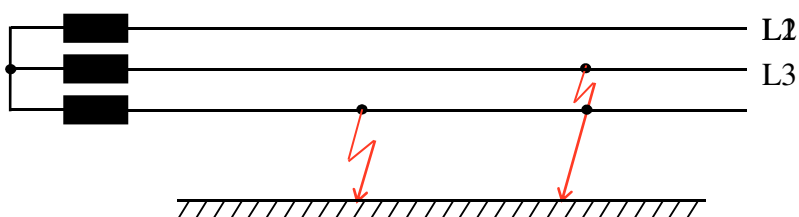
Obr.3.4. Dvojpólový zemní zkrat

- **Jednofázový zkrat** - vzniká při spojení jedné fáze se zemí v soustavě s uzemněným uzlem.



Obr.3.5. Jednofázový zkrat

- **Simultánní zkrat**- dvojfázový zemní zkrat, kdy dojde ke spojení dvou různých fází trojfázové soustavy se zemí na dvou různých místech



Obr.3.6. Simultánní zkrat

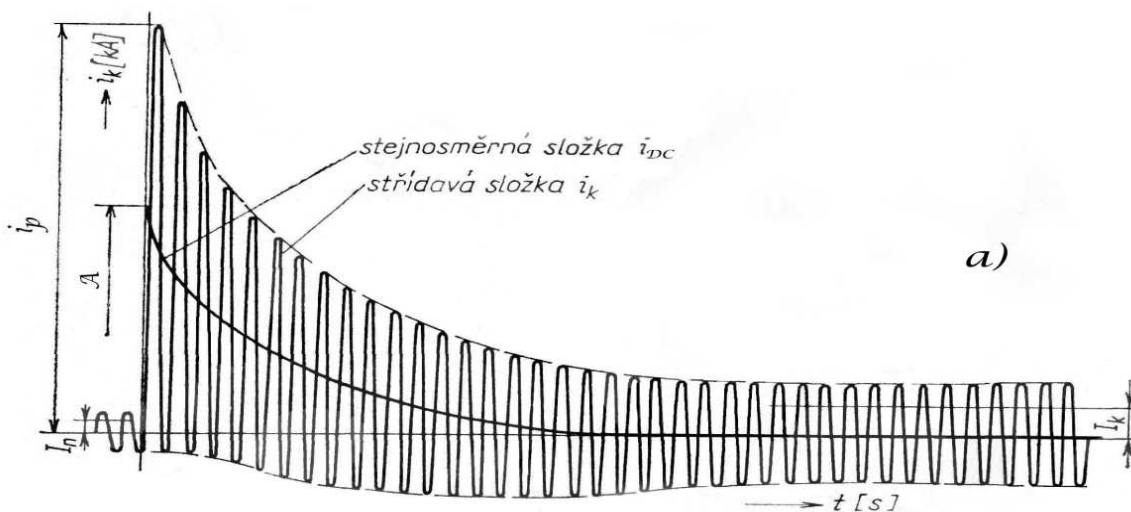
Při zkratu vznikají přechodné odpory, velikost odporů je závislá na způsobu propojení fází nebo fáze se zemí.

- **Dokonalý zkrat** – vzniká dokonalým spojením fází se zemí kovovým předmětem, impedance v místě spojení je nepatrná
- **Nedokonalý zkrat** – při nedokonalém spojení částí vedení třeba větví stromu, impedance v těchto spojení je značná a má vliv na velikost zkratového proudu.
- **Obloukový zkrat** – vzniká při spojení nebo přiblížení vodičů na přeskokovou vzdálenost, čímž vzniká snížení izolační pevnosti a vznik elektrického oblouku. Proud i odpor se v těchto případech mění a dá se jen těžko změřit

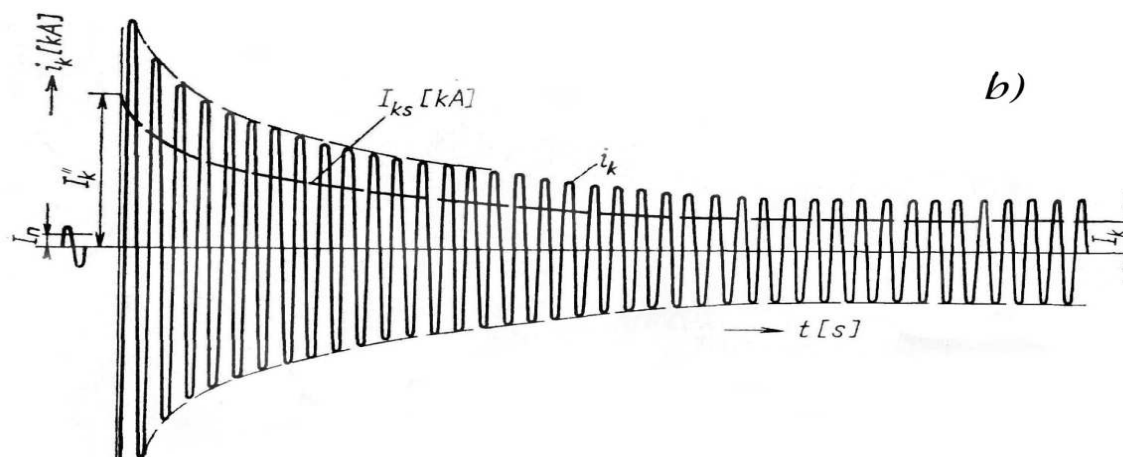
3.4. Průběh zkratového proudu

Při zkratu se jedná o poruchový stav, kde normální pracovní proud přechází na ustálený zkratový proud. Jde o přechodný děj, který trvá určitou dobu, průběh proudu se mění periodicky, ale v obvodu se vyskytují i vyrovnávací proud, který tento přechod zprostředkují. Výsledný zkratový proud se skládá ze dvou hlavních složek:

- **Stejnoseměrná složka**
- **Střídavá složka**



Obr.3.7. Průběh nesouměrného zkratového proudu



Obr.3.8. Efektivní hodnota souměrného zkratového proudu

• Stejnosemnná složka i_{DC}

Neseuěnný zkratový proud je proud se stejnosmnnou složkou (viz obr.3.1). Průběh stejnosmnné složky s časem klesá, asi po 0,25 s zanikne. Zkratový proud bývá převážně indukčního charakteru, zpoždí se tedy za napětím o 90° . Stejnosemnná složka je tedy maximální, je-li napětí v okamžiku zkratu nejmenší. V případě trojpólového zkratu jsou díky posunutí fázových napětí o 120° stejnosmnné složky v jednotlivých fázích různé. Maximální stejnosmnná složka může být jen v jedné fázi. Při výpočtech uvažujeme vždy s nejnepríznivějšími podmínkami, a proto vždy počítáme s maximální stejnosmnnou složkou.

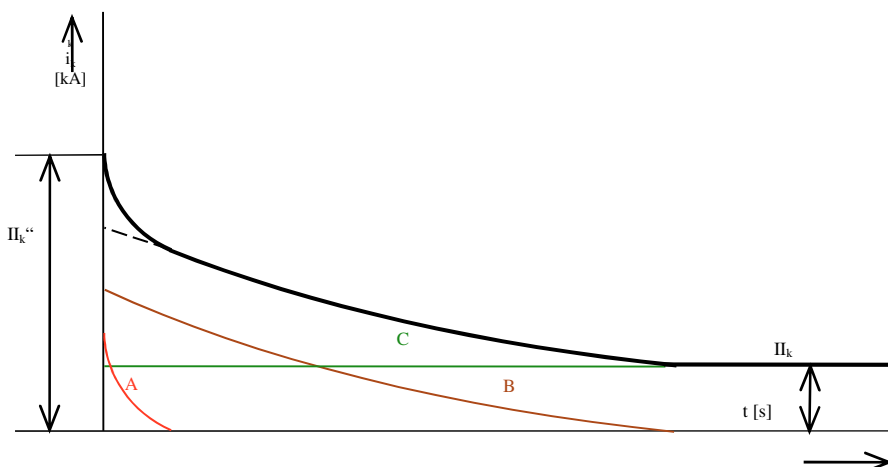
$$i_{DC} = \sqrt{2} \cdot I_k'' \cdot e^{-2\pi f t \frac{R}{X}} \quad [14]$$

Kde:

I_k'' počáteční souměrný rázový zkratový proud;
 f jmenovitý kmitočet;
 t doba trvání zkratu;
 R/X poměr určíme podle přílohy 5a.ČSN

• Střídavá složka i_k

Průběh střídavé složky je vyznačen na obr.3.3. Proud i_k kmitá průmyslovým kmitočtem. Je souměrný podle osy času s postupně klesající amplitudou, nazýváme ho souměrný zkratový proud. Souměrný zkratový proud se skládá ze tří složek. Jednotlivé složky, ze kterých se skládá průběh efektivní hodnoty souměrného zkratového proudu.



Obr.3.9. Efektivní hodnota souměrného zkratového proudu

- A** - rázová složka zkratového proudu;
- B** - přechodná složka zkratového proudu;
- C** - ustálená složka zkratového proudu.

Všechny tři složky mají sinusový průběh o kmitočtu soustavy. Složky A a B Mají tendenci klesat podle exponenciály, složka C zůstává konstantní.

3.5. Stanovení základních předpokladů pro výpočet zkratů

1. Při výpočtu zkratů předpokládáme, že se v průběhu trvání zkratu parametry prvků elektrizační soustavy nemění.
2. Soustava před zkratem se předpokládá symetrická.
3. Změny v zapojení soustavy v době trvání zkratu se uvažují, pouze když ovlivní velikost ekvivalentního oteplovacího proudu.
4. Předpokládá se, že zkraty postihující více než jednu fázi, vznikají v témže místě a současně (to neplatí pro jednofázový zkrat).
5. Vliv elektrického oblouku na velikost zkratového proudu se neuvažuje.
6. Při výpočtu zkratových proudů se uvažuje vliv synchronních alternátorů, motorů, kompenzátorů a asynchronních motorů. Pokud při zkratu budou dodávat zkratový proud polovodičové systémy, musíme počítat i s těmito vlivy.

• **Podmínky pro stanovení maximálního zkratového proudu**

Musíme vycházet z nejnepříznivějšího stavu elektrizační soustavy, kde předpokládáme:

- Provozně přípustné zapojení soustavy, které v místě zkratu má největší zkratový proud.
- Chod uvažovaných zdrojů s jmenovitým napětím a jmenovitým výkonem při jmenovitém účinníku.
- Chod motorů
- Teplota vodičů vedení 20°C, při výpočtech s činným odporem

- **Podmínky pro stanovení minimálního zkratového proudu**

Musíme vycházet z omezených provozních stavů soustavy, při kterých se předpokládá:

- Zapojení soustavy, která zajišťuje jen minimální odběr.
- Chod sníženého počtu zdrojů, které napájí místo zkratu a pracují naprázdno s jmenovitým napětím.
- Teplota vodičů venkovního vedení 80°C a kabelového vedení maximální přípustná provozní teplota, při výpočtech s rezistencí.
- Vliv motorů se neuvažuje.

- **Postup výpočtu zkratových poměrů**

- sestavení schématu dané soustavy (parametry uvažovaných prvků vztahujeme k jejich jmenovitému výkonu a napětí)
- sestavení náhradního schématu soustavy (pro souměrné zkraty pouze náhradní schéma sousledné složky, pro nesouměrné zkraty musí být náhradní schémata sousledné, zpětné i nulové složky)
- stanovení impedance všech prvků náhradních schémat
- pro každý složkový systém se určí jeho impedance nakrátko vztažená k místu zkratu.
- výpočet počátečního rázového proudu.
- výpočet nárazového zkratového proudu, ekvivalentního oteplovacího proudu.
- výpočet vypínacího zkratového proudu

3.6. Výpočet zkratových poměrů

A. **Počáteční rázový zkratový proud I_{k3}'' při trojfázovém zkratu:**

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)}|} \quad [kA, -, kV, \Omega] \quad [15]$$

B. **Počáteční rázový zkratový proud I_{k2}'' při dvoufázovém zkratu:**

$$I_{k2}'' = \frac{c \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} \quad [kA, -, kV, \Omega] \quad [16]$$

C. **Počáteční rázový zkratový proud I_{k1}'' při jednofázovém zkratu:**

$$I_{k1}'' = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|} \quad [kA, -, kV, \Omega] \quad [17]$$

k_1	součinitel rázového zkratového proudu;
U_n	jmenovité sdružené napětí sítě v místě zkratu
c	napěťový součinitel;
$Z_{(1)}$	výsledná sousledná impedance zkratového obvodu
$Z_{(2)}$	výsledná zpětná impedance zkratového obvodu
$Z_{(0)}$	výsledná nulová impedance zkratového obvodu

Napěťový součinitel (c)

Jmenovité napětí U_n	Napěťový součinitel c pro výpočet	
	maximálních zkratových proudů c_{\max}	minimálních zkratových proudů c_{\min}
Nízké napětí 100 V až 1 000 V	1,05	0,95
Vysoké napětí 1 kV až 35 kV	1,10	1,00
Velmi vysoké napětí nad 35 kV		

Tabulka.3.1. Napěťový součinitel (c)

D. Náhradní impedance soustavy (určení parametrů prvků soustavy ve fyzikálních jednotkách)

Sousledná složka $Z_1 = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{k3}''}$ [Ω , -, kV, MVA] [18]

Zpětná složka $Z_2 = Z_1 = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{k3}''}$ [Ω , -, kV, MVA] [19]

Nulová složka $Z_0 = c \cdot U_n^2 \cdot \left(\frac{3}{S_{k1}''} - \frac{2}{S_{k3}''} \right)$ [Ω , -, kV, MVA] [20]

U_n jmenovité sdružené napětí nahrazované sítě

S_k'' zkratový výkon soustavy

E. Náhradní impedance dvouvinutového transformátoru

$$\text{Sousledná složka} \quad Z_{(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}] \quad [21]$$

$$\text{Zpětná složka} \quad Z_{(2)} = Z_{(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}] \quad [22]$$

u_k jmenovité napětí nakrátko

U_{nT} jmenovité napětí transformátoru

S_{nT} jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru

F. Náhradní rezistence a reakce vedení

$$\begin{aligned} \text{Sousledná složka} \quad R_{(1)} &= R_k \cdot l \quad [\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}] \\ X_{(1)} &= X_k \cdot l \quad [\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}] \end{aligned} \quad [23]$$

$$\begin{aligned} \text{Zpětná složka} \quad R_{(2)} &= R_{(1)} = R_k \cdot l \quad [\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}] \\ X_{(2)} &= X_{(1)} = X_k \cdot l \quad [\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}] \end{aligned} \quad [24]$$

Nulová složka – je potřebná jen pro distanční ochrany, kterými se zabývat nebudu.

R_k rezistence vedení délky 1km

X_k reakce vedení délky 1km

l délka vedení

Napět'ová hladina v místě zkratu

$$Z_2 = Z_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \quad [\Omega, \Omega/\text{kV}, \text{kV}] \quad [25]$$

Z_2 impedance přepočtená na napět'ovou hladinu U_2 v místě zkratu

Z_1 impedance na napět'ové hladině U_1

G. Výpočty zkratů v praxi

Výpočty zkratů se zabývají tyto státní normy: ČSN 33 3022 (2002), ČSN 33 2023, ČSN 33 2024, PEN 33 3042 (v třífázových střídavých soustavách). Tyto normy slouží pro výpočty zkratů ve všech jejích podobách (blízké, vzdálené, nárazové atd.). Pro nastavení ochran pak stačí zjednodušený výpočet zkratů provedený jen v impedanční rovině. Výpočet bude vyšší než podle norem ČSN a nelze ho využít pro zkraty blízké. Podrobné výpočty je nutno provádět podle uvedených norem.

4. Popis elektrozařízení povrchového dolu Bílina a.s

Povrchový důl Bílina a.s je napájen z hlavní rozvodny TR1. Tato rozvodna má tři přívody volným vedením 110 kV, které jsou přivedeny na 3 transformátory 110/35kV o výkonu 40MVA. V tomto popisu se budu zabývat rozvodnou R2 tedy částí 35kV konkrétně kobkou R2 3532 v hlavní rozvodně TR 1. Kobka R2 3532 napájí mobilní rozvodnu DT 76 volným vedením 35kV. Velkorypadlo K 10000 je napájeno kabelovým vedením 35kV z mobilní rozvodny DT 76.

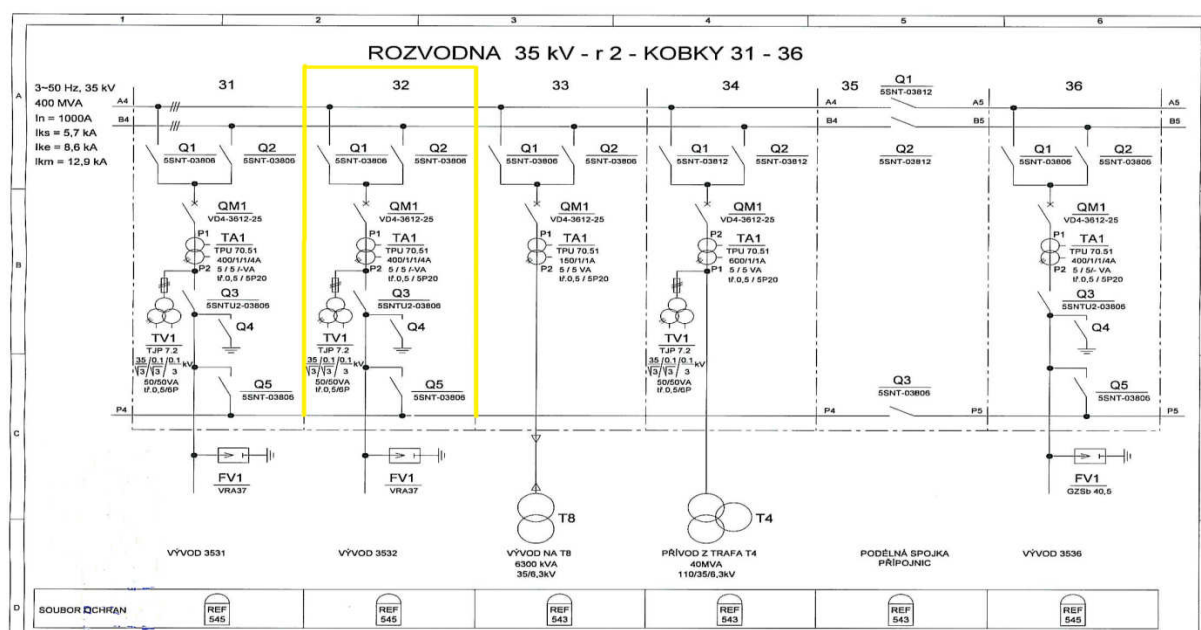
4.1. Základní popis

Rozvodna 35kV s označením R2 je situována v samostatné budově (jednopolové schéma je uvedeno jako obr.4.1). Jedná se o rozvodnu vnitřního provedení vždy se dvěma systémy přípojníc s podélným / příčným dělením a pomocnou přípojnicí.

Spínací přístroje VN mají elektrické pohony. Řídící skříně byly dodány kompletně nové, vybavené pro účely ovládání, provozní a poruchovou signalizaci, dále pro měření elektrických veličin a potřeby synchronizovaného spínání vybraných kobek (synchrocheck).

Všechny rozváděče jsou vybaveny elektronickými multifunkčními ochrami **REF**, které slouží jak pro kompletní měření a komunikaci s řídicím systémem, tak i pro místní a dálkové elektrické ovládání odpojovačů, vypínačů a odpínačů v jednotlivých kobkách R2.

Vypínače VD4 jsou vybaveny pro místní ruční ovládání ručním strádáním s pákovým mechanismem a mechanickým vypínacím a zapínacím tlačítkem umístěným přímo na každém vakuovém vypínači. Jednotlivé odpojovače SERW jsou pro místní ruční manipulaci vybaveny klikovým mechanismem pro ovládání jak odpojovačů, tak i uzemňovačů.



Obr.4.1 Jednopolové schéma rozvodny R2 a označení kobky č.3532

4.2. Napět'ové soustavy rozvodny R2

- Silová část VN 3~50Hz, 35kV/IT
- Ovládací a signalizační okruhy 2-110V DC / IT
- Napájení měřících převodníků 1+PEN ~ 50Hz, 230V/ TN-C

4.3. Ochrana živých a neživých částí

A. VN ČÁST

- Ochrana živých částí polohou, zábranou, krytím
- Ochrana neživých částí / soustava IT zemněním v sítích s izolovaným uzlem

B. NN ČÁST

- Ochrana živých částí izolací, krytím
- Ochrana neživých částí / všechny soustavy samočinným odpojením od zdroje

4.4 Vyzbrojení kobky R2-3532

1. Transformátor napětí s pojistkou

Transformátory napětí T JP 7.1, zalévané do epoxidové pryskyřice, jsou navrženy většinou pro izolační napětí od 36 kV do 40,5 kV.

Transformátor je většinou vybaven dvěma sekundárními vinutími, kde první slouží buď pro měřicí nebo jisticí účely a druhé se zapojuje do systému "otevřeného trojúhelníka" u trojfázového systému.

. Transformátor T JP 7.1 má prostor pro instalaci pojistky se jmenovitým proudem 2A.

Jmenovitá primární napětí: ... 301/3 kV; 33//3 kV; 35//3 kV

Přístrojový transformátor napětí použitý v kobce č.3532 : T JP 7.2 35000/V3//1 00/V3/1 00/3V

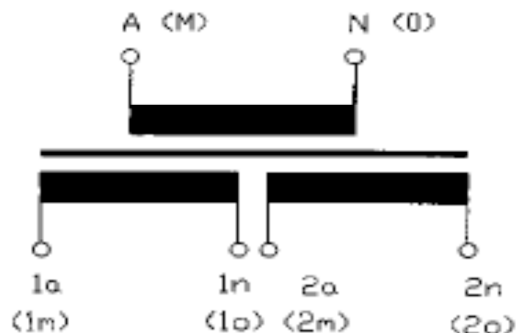
Typ:	T JP 7.2
Jmenovitý kmitočet:	50 Hz
Třída přesnosti:	0,5 / 6P
Výrobní číslo:	1 VLT5208002139
Nejvyšší napětí pro zařízení:	38,5 kV
Jmenovitý převod:	35000/ $\sqrt{3}$ //100/ $\sqrt{3}$ /100/3V
V Jmenovitý výkon:	50 / 50 VA

Transformátor napětí s pojistkou

TJP 7.1

Nejvyšší napětí soustavy	[kV]	36 - 38,5 - 40,5
Zkušební napětí střídavé, 1 min.	[kV]	70, 80, 95
Zkušební napětí impulsní	[kV]	170, 180, 200
Jmenovitá zátěž, přesnost	[VA/cl]	30/0,2- 75/0.5-150/1
Pomocné vinutí	[VA/cl]	50-200/6P
Pojistka	[A]	2

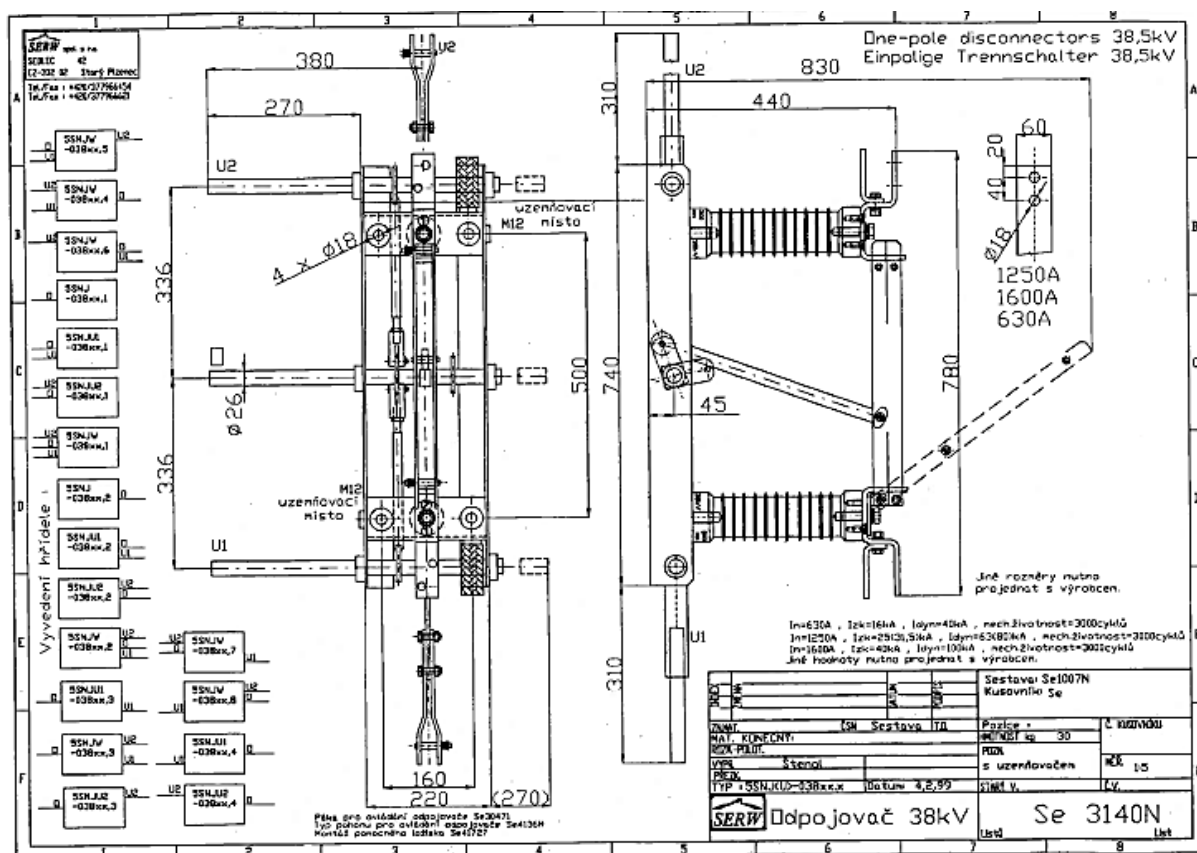
Obr.4.2 Transformátor napětí s pojistkou



Obr.4.3 Jednopolově izolovaný transformátor se dvěma sekundárními Vinutími

2. Trojpolové přípojnicové a vývodové odpojovače Q1, Q2, Q3, Q4 v vývodové kobce č. 32

typ: 5 SNT- 03806.1 ($U_n=38,5\text{kV}$, $I_n= 630\text{A}$, výrobce: SERW s.r.o. Starý Plzenec) s el. pohony typu 5PMF I (ovl. napětí 1 IOV DC)



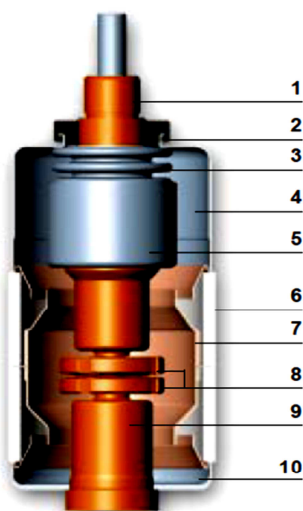
Obr.4.4 Přípojnicový trojpolový odpojovač

TECHNICKÁ DATA VNITŘNÍ ODPOJOVAČE SERJV v kobce č.3532

trojpólové odpojovače	5SNT-03806
Jmenovité napětí	38,5 kV
Frekvence	50 Hz
izolační hladina proti zemi mezi póly:	
Výdržné napětí při atmosférickém impulsu	180 kV
Krátkodobé výdržné napětí střídavě	80 kV
Izolační hladina v odpojovací dráze:	
Výdržné napětí při atmosférickém impulsu	210 kV
Krátkodobé výdržné napětí střídavě	90 kV
Jmenovitý proud	630 A
Jmenovitý krátkodobý proud (1s)	16 kA
Jmenovitý dynamický proud	40 kA
Mechanická životnost	
Doba funkce s elektromotorem	3000 spínacích cyklů
Pohon:	elektrický

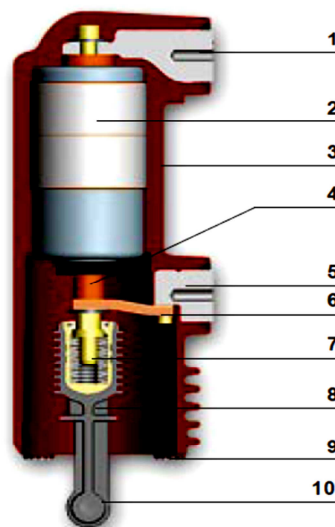
3. Troj­pólové vakuové vypínače QM v kobce č.3532

- troj­pólové vakuové vypínače QM v kobce č.32: typ: VD4 4012-25 ($U_n=38,5$ kV, $I_n=1250$ A, výrobce: ABB)



Vakuové zhášedlo

- 1 Roubík/vývod
- 2 Vedení
- 3 Vlnovec
- 4 Kryt zhášedla
- 5 Stínění
- 6 Keramický izolátor
- 7 Stínění
- 8 Kontakty
- 9 Roubík
- 10 Kryt zhášedla



Pól vypínače

- 1 Horní vývod
- 2 Vakuové zhášedlo
- 3 Pouzdro z epoxidové pryskyřice
- 4 Roubík pohyblivého kontaktu
- 5 Spodní vývod
- 6 Flexibilní připojení
- 7 Kontaktní pružina
- 8 Táhl
- 9 Upevňovací místo pólu
- 10 Připojení k pohonu

Obr.4.5 Vakuové zhášedlo Pól vypínače

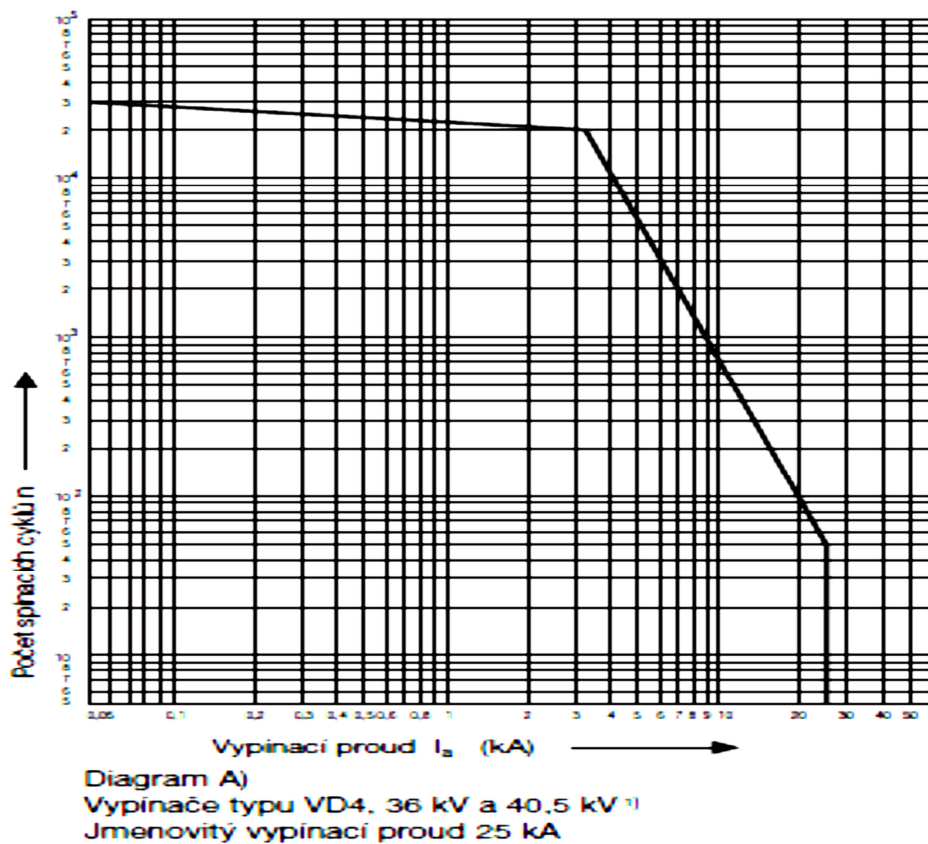
Typ vypínače	Jmen. napětí	Jmen. proud	Jmenovitý vypínací proud symetrický ¹⁾	Vypínací proud nesymetrický ¹⁾	Jmenovitý zapínací proud (maximální) ¹⁾	Jmen. doba zkratu	Rozteč pólů	Hmotnost	Dovolený počet spínacích cyklů vakuového zhašedla
VD4..	kV	A	kA	kA	kA	s	mm	cca kg	Obr. 2/1 strana 9
3612-25	36	1250 ²⁾	25	27.3	63	3	360	320	Diagram A

Tabulka.4.1. Hodnoty vakuové vypínače QM

Jmenovité napětí	kV	36
Jmenovitý kmitočet	Hz	50/60
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulsu	kV	170
Jmenovité výdržné střídavé napětí průmyslového kmitočtu	kV	70
Strmost zotaveného napětí	kV/ μ s	0,57
Vrcholová hodnota zotaveného napětí	kV	62
Jmenovitý sled spínání		O-3min-CO-3min-CO
Jmenovitý sled spínání při opětovém zapínání		O-0,3s-CO-3min-CO

Tabulka.4.2.Jmenovité hodnoty vakuové vypínače QM

Dovolený počet spínacích funkcí vakuového zhašedla v závislosti na vypínacím proudu



Obr.4.6.Diagram dovolených sepnutí

4. Přístrojové transformátory proudu TAI ve vývodové kobce č.3532

Transformátory jsou zalévány do epoxidové pryskyřice a jsou navrženy pro izolační napětí 36 kV až 40,5 kV. Transformátory jsou navrženy jako jednozávitové nebo s větším počtem závitů na primární straně, s jedním převodem nebo s možností přepínání na primární nebo sekundární straně. Sekundární vinutí jsou určena pro měřicí nebo jisticí účely, případně pro speciální použití (zkušební vinutí, vinutí třídy „X“...).

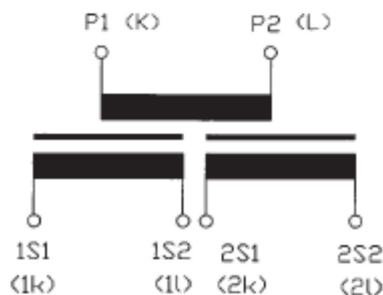
- **přístrojové transformátory proudu TAI ve vývodové kobce č.32** : typ: TPU 70.51 (převod: 400//1/1/4A , 5/5VA, 0,5% 15P201 cl.H, výrobce: ABB)

Typ:	TPU 70.51
Jmenovitý kmitočet:	50 Hz
Třída přesnosti:	0,5 FS5 / 5P 20 / H
Jmenovitý dynamický proud:	62,5 kA
Jmenovitý krátkodobý proud:	25 kA (1s)
Výrobní číslo:	1VL T51 08004491
Nejvyšší napětí pro zařízení:	38,5 kV
Jmenovitý převod:	400 // 1 / 1 / 4 A, ext.120%
Jmenovitý výkon:	5/5/- VA



Nejvyšší napětí soustavy	[kV]	36; 38,5; 40,5
Zkušební napětí střídavé, 1 min.	[kV]	70; 80; 90
Zkušební napětí impulsní	[kV]	170; 180; 200
Jmenovitý primární proud	[A]	10 - 2500
Jmenovitý krátkodobý tepelný proud	[kA]	do 100
Zátěže, třídy přesnosti	[VA/tř.]	5-30 / 0,2-1 / 5P; 10P (podle ostatních parametrů - lth)
Přepínání převodů (primární do 600-1200 A)		primární nebo sekundární

Obr.4.7. Transformátory proudu pro vnitřní prostředí



Obr.4.8. Provedení se dvěma sekundárními vynyutími

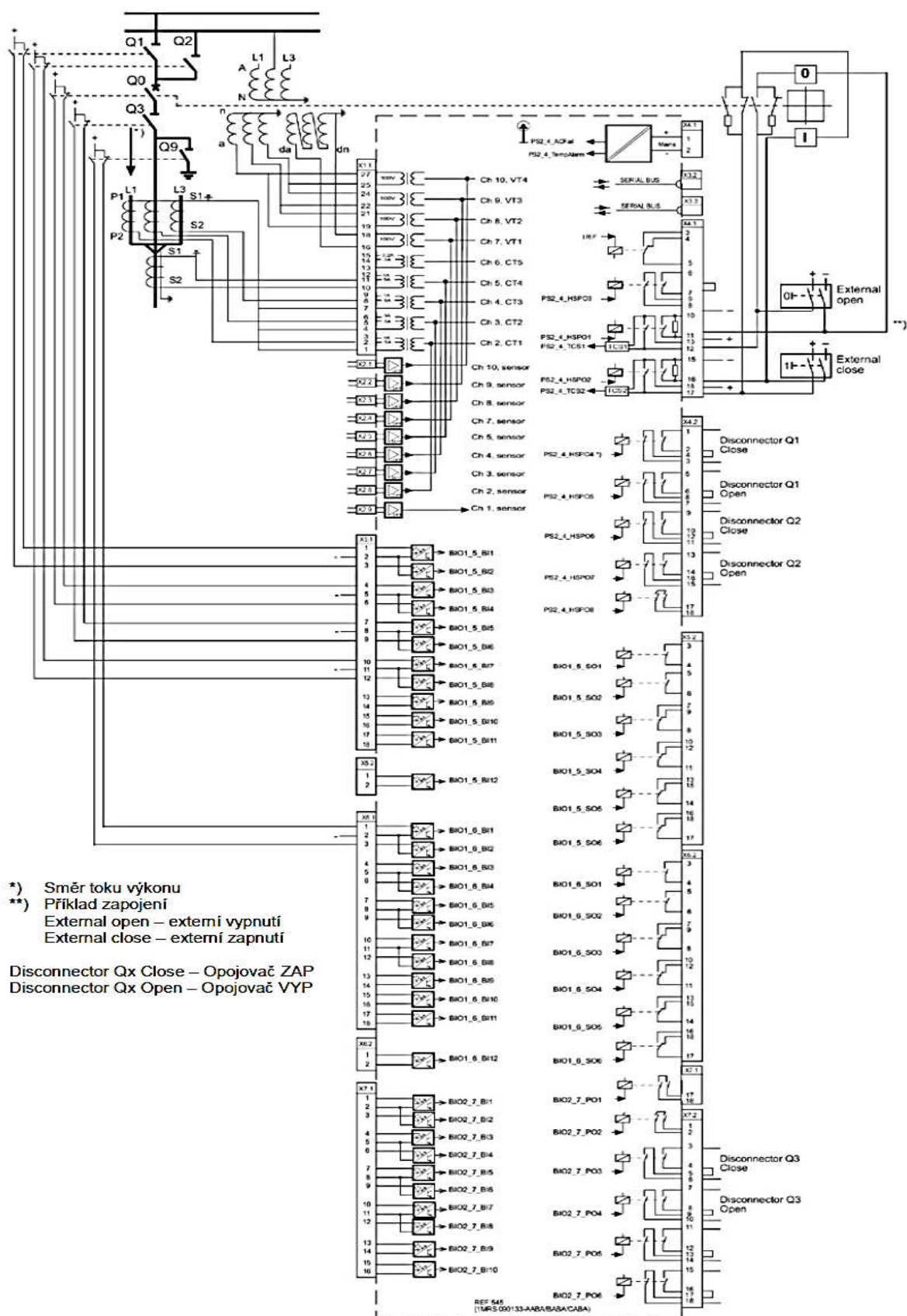
5. Terminál vývodového pole REF 545

A. Charakteristické vlastnosti

- Terminál vývodového pole určený k chránění, ovládání, měření a monitorování vývodů v sítích vysokého napětí.
- Měření napětí a proudů je uskutečněno prostřednictvím běžných měřicích transformátorů nebo prostřednictvím proudových senzorů a napěťových děličů.
- Pevně instalované ovládací rozhraní HMI (Human-Machine-Interface) vybavené velkým grafickým displejem nebo externí zobrazovací modul určený pro flexibilní řešení instalací rozvodn.
- K dispozici jsou ochranné funkce jako například nesměrové i směrové nadproudové a zemní ochrany, funkce vyhodnocení nulové složky napětí, přepětová i podpětová ochrana, ochrana proti tepelnému přetížení, ochrana při selhání vypínače (CBFP) a funkce automatického opětovného zapnutí.
- Řídicí funkce včetně místního i dálkového ovládání spínacích prvků společně s funkcí kontroly synchronního stavu (Synchrocheck), stavová indikace objektů a blokovací podmínky na úrovni vývodového pole i rozvodny.
- Měření fázových proudů, sdruženého i fázového napětí, nulového proudu a nulové složky napětí, frekvence, účinníku, činného i jalového výkonu a elektrické energie.
- Zdokonalené funkce měření kvality energie. Funkce umožňují měřit celkové harmonické zkreslení jak u proudů, tak i u napětí (THD – total harmonic distortion) a měřit i krátkodobé změny napětí, jako jsou například poklesy, nárůsty a krátké výpadky napětí.
- Monitorování provozních podmínek včetně monitorování stavu vypínače, funkce kontroly vypínacího obvodu a interní funkce samočinné kontroly stavu terminálu vývodového pole.
- Časová synchronizace prostřednictvím binárního vstupu. Synchronizační impulsy přijímané jednou za sekundu nebo jednou za minutu.
- Lokátor poruchy určený pro zkraty ve všech typech sítí a pro zemní poruchy v účinně uzemněných sítích, v odporově uzemněných sítích i v nízkoimpedančně uzemněných sítích.



Obr.4.9.Ochrana REF545



A050204

Obr.4.10 Svorkovnicové schéma ochrany REF545

Tabulka 6: Ochranné funkce

Funkce	Číslo ANSI funkce	IEC symbol	Popis
AR5Func	79	O→I	Funkce automatického opětovného zapnutí (5 cyklů)
CUB1Cap ²⁾	51NC-1	dI>C	Ochrana při proudové nevyváženosti paralelních kondenzátorových baterií
CUB3Cap ²⁾	51NC-2	3dI>C	Třífázová ochrana při proudové nevyváženosti paralelních kondenzátorových baterií zapojených do "H – můstku"
CUB3Low	46	Iub>	Ochrana při fázové nevyváženosti
DEF2Low	67N-1	Io>→	Směrová zemní ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti
DEF2High	67N-2	Io>>→	Směrová zemní ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti
DEF2Inst	67N-3	Io>>>→	Směrová zemní ochrana, mžikový stupeň
DOC6Low ¹⁾	67-1	3I>→	Třífázová směrová nadpr. ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti
DOC6High ¹⁾	67-2	3I>>→	Třífázová směrová nadpr. ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti
DOC6Inst ¹⁾	67-3	3I>>>→	Třífázová směrová nadproudová ochrana, mžikový stupeň
FLOC ⁴⁾	21FL	FLOC	Lokátor poruchy
Freq1St1 ¹⁾	81-1	f1	Podfrekvenční nebo nadfrekvenční ochrana, stupeň 1
Freq1St2 ¹⁾	81-2	f2	Podfrekvenční nebo nadfrekvenční ochrana, stupeň 2
Freq1St3 ¹⁾	81-3	f3	Podfrekvenční nebo nadfrekvenční ochrana, stupeň 3
Freq1St4 ¹⁾	81-4	f4	Podfrekvenční nebo nadfrekvenční ochrana, stupeň 4
Freq1St5 ¹⁾	81-5	f5	Podfrekvenční nebo nadfrekvenční ochrana, stupeň 5
FuseFail ³⁾	60	FUSE	Kontrolní funkce poruchy pojistek (jištění)
Inrush3	68	3I2f>	Třífázový detektor zapínacího proudu transformátoru a rozběhu motoru
MotStart ²⁾	48	Is2t n<	Třífázová funkce kontroly rozběhu motoru
NEF1Low	51N-1	Io>	Nesměrová zemní ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti
NEF1High	51N-2	Io>>	Nesměrová zemní ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti
NEF1Inst	51N-3	Io>>>	Nesměrová zemní ochrana, mžikový stupeň
NOC3Low	51-1	3I>	Třífázová nesměrová nadpr. ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti
NOC3High	51-2	3I>>	Třífázová nesměrová nadpr. ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti
NOC3Inst	51-3	3I>>>	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana, mžikový stupeň
OL3Cap ²⁾	51C	3I>3I<	Třífázová ochrana proti přetížení paralelních kondenzátorových baterií
OV3Low	59-1	3U>	Třífázová přepětová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti
OV3High	59-2	3U>>	Třífázová přepětová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti
PSV3St1 ²⁾	47-1	U1U2<>_1	Ochrana vyhodnocující souslednou a zpětnou složku napětí, stupeň 1
PSV3St2 ²⁾	47-2	U1U2<>_2	Ochrana vyhodnocující souslednou a zpětnou složku napětí, stupeň 2
ROV1Low	59N-1	Uo>	Přepětová ochrana (měř. nulové složky), st. s nižším rozsahem seřiditelnosti
ROV1High	59N-2	Uo>>	Přepětová ochrana (měř. nulové složky), st. s vyšším rozsahem seřiditelnosti
ROV1Inst	59N-3	Uo>>>	Přepětová ochrana (měření nulové složky), mžikový stupeň
SCVCSt1 ¹⁾	25-1	SYNC1	Funkce kontroly synchronního/napětového stavu, stupeň 1
SCVCSt1 ¹⁾	25-2	SYNC2	Funkce kontroly synchronního/napětového stavu, stupeň 2
TOL3Cab ¹⁾	49F	3Ith>	Třífázová ochrana proti tepelnému přetížení kabelů
TOL3Dev ²⁾	49M/G/T	3Ithdev>	Třífázová ochrana proti tepelnému přetížení zařízení
UV3Low	27-1	3U<	Třífázová podpětová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti
UV3High	27-2	3U<<	Třífázová podpětová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti

1) Tyto funkce jsou podporovány pouze v terminálech vývodového pole od zahájení výroby verze 1.5 nebo v terminálech vyšší verze

3) Tyto funkce jsou podporovány pouze v terminálech vývodového pole od zahájení výroby verze 2.0 nebo v terminálech vyšší verze

2) Tyto funkce jsou podporovány pouze v terminálech vývodového pole od zahájení výroby verze 2.5 nebo v terminálech vyšší verze

4) Tyto funkce jsou podporovány pouze v terminálech vývodového pole od zahájení výroby verze 3.5 nebo v terminálech vyšší verze

Tabulka.4.3.Ochranné funkce REF545

Třífázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti NOC3High, 3I>> (51-2) a mžikový stupeň NOC3Inst, 3I>>> (51-3)		
Popudový proud		0.10...40.00 × In
Čas působení		0.05...300.00 s
Provozní režim	(Not in use)	Nepoužito
	(Definite time)	Nezávislé časové zpoždění
	(Instantaneous)	Mžikové působení
Režim měření	(Peak-to-peak)	Špička – špička
	(Fundamental frequency)	Základní frekvence
Čas odpadu/návratu čítače času působení		0...1000 ms
Přesnost hodnoty působení		Upozornění! Níže uvedené hodnoty jsou platné v rozsahu f/fn = 0,95...1,05 0,1...10 × In: ±2,5 % z nastavené hodn. nebo ± 0,01 × In 10...40 × In: ± 5,0 % z nastavené hodnoty
Čas popudu		Injektované proudy > 2,0 × popudový proud: Interní čas < 32 ms Celkový čas < 40 ms
Čas resetu		40...1000 ms (závislé na minimální šířce impulsu nastavené u vypínacího výstupu)
Přidržený poměr, typická hodnota		0,95
Čas zpoždění návratu funkce		< 45 ms
Přesnost času působení v režimu nezávislého zpoždění		± 2 % z nastavené hodnoty nebo ± 20 ms

Tabulka.4.4.Ochranná funkce NOC3High,3I>>> REF545

4.5. Vyzbrojení mobilní rozvodny DT 76

1. Zapouzdřený rozvaděč Safe Plus 36 CCVV $U_n=36kV$

SafeRing je kompaktní distribuční rozváděč izolovaný plynem SF6 a SafePlus je modulární kompaktní rozváděč pro aplikace v distribučních sítích vysokého napětí. SafeRing může být dodáván jako 2-cestná, 3-cestná, nebo 4-cestná standardní konfigurace s přídatným zařízením podle specifikace zákazníka. DF, CCF, CCC, CCCF, CCFF, DV, CCV, CCCC, CCCV, CCVV.

Safe Plus je výjimečně flexibilní pro možnost rozšíření a kombinace plně modulárních a částečně modulárních konfigurací. Be – SL – Sv – M – C – De – D – F – V.

SafeRing a SafePlus nabízí hermetickou nádobu z nerezavějící oceli, která obsahuje všechny komponenty pod napětím a spínací funkce. Transformátor je jištěn buď kombinací odpínače s pojistkami, nebo vakuovým vypínačem.

V mobilní rozvodně DT 76 jsou tyto moduly:

C – Kabelový spínač

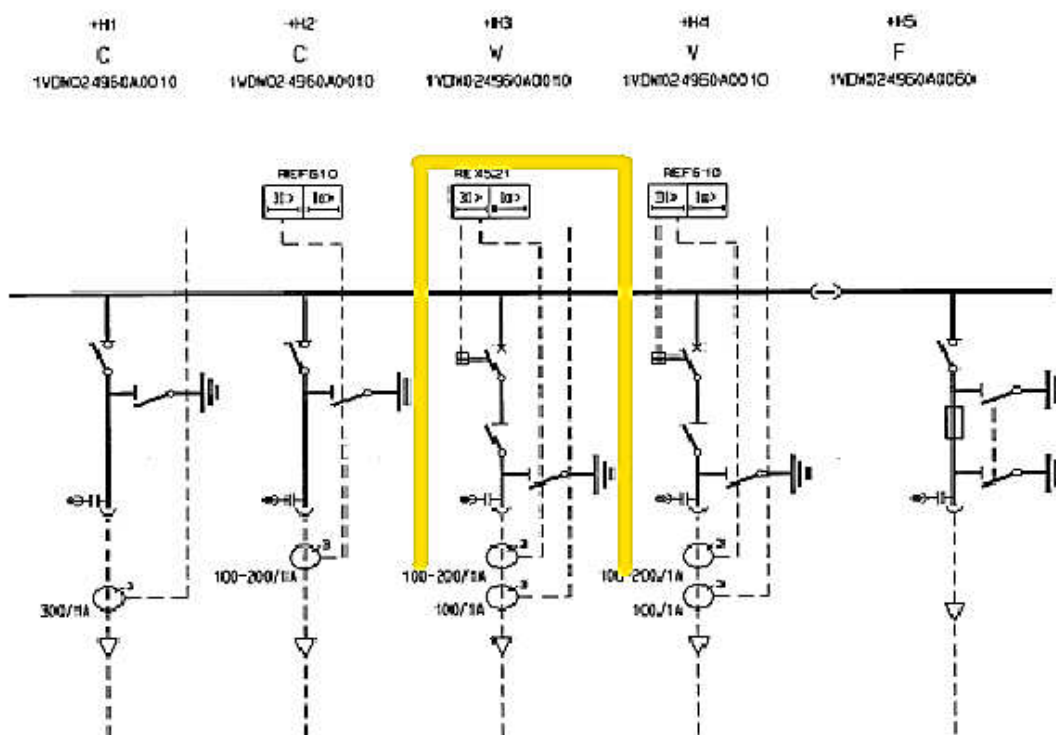
F – Odpínač s pojistkami

D – Přímé kabelové připojení

De – Přímé kabelové připojení s uzemněním

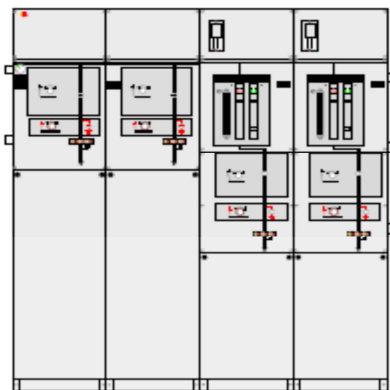
V – Vakuový vypínač

Jednopolové schéma

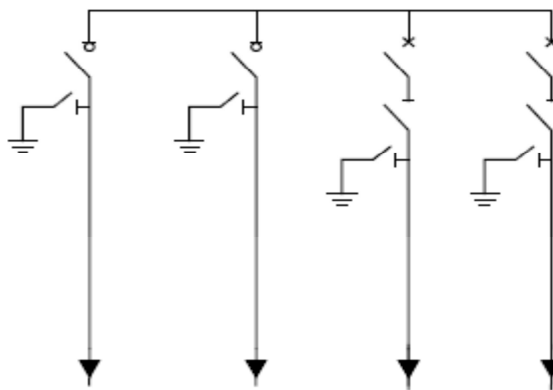


Obr.4.11 Jednopolové schéma DT 76 35kV

Sestava rozvaděče Safe Plus 36 CCVV



Obr.4.12. Sestava rozvaděče Safe Plus



Obr.4.13. Jednopolové schéma Safe Plus

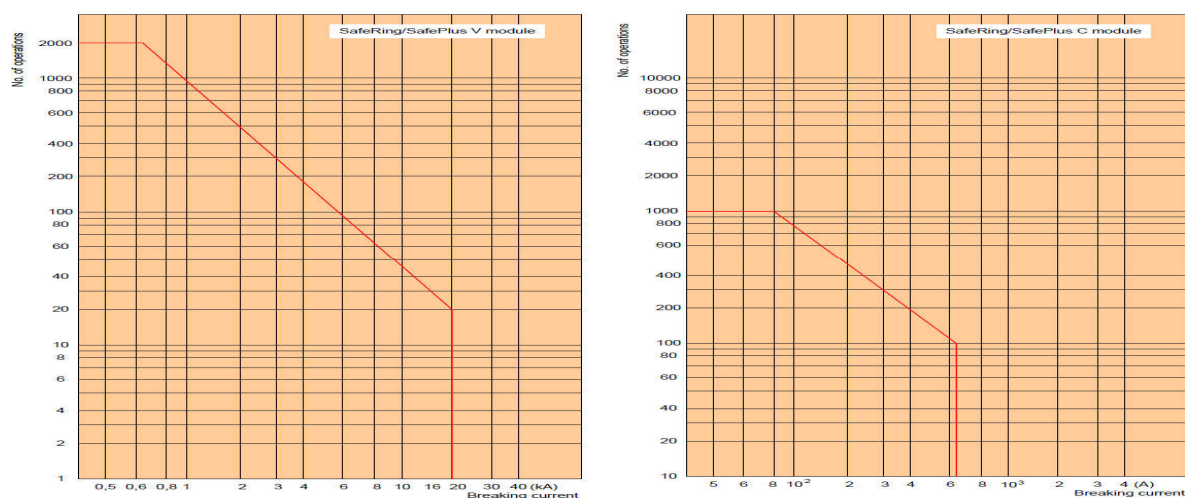
Technická data vakuového vypínače

Jmenovité napětí	36kV
Střídavé výdržné napětí	70kV
Impulzní výdržné napětí	170kV
Vypínací schopnost	630A
Zkratový vypínací proud	20kA
Zapínací schopnost	50kA
Krátkodobý proud (1s)	16kA

Technická data odpínače a uzemňovače

Jmenovité napětí	36kV
Střídavé výdržné napětí	70kV
Impulzní výdržné napětí	170kV
Zapínací schopnost	50kA
Krátkodobý proud (1s)	20kA

Dovolený počet spínacích funkcí v závislosti na vypínacím proudu pro moduly typu Safe Plus C a V



Obr.4.14. Dovolený počet spínacích funkcí rozvaděče Safe Plus C a V

Přístrojové transformátory proudu

Nejvyšší napětí pro zařízení:

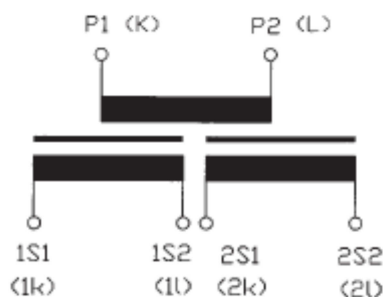
38,5 kV

Jmenovitý převod:

200 // 1 / 1 / 4 A, ext.120%

Jmenovitý výkon:

5/5/- VA



Obr.4.15. Provedení se dvěma sekundárními vynutími

4.2. Ochrana vývodu

A. Všeobecné informace



Obr.4.16. Ochrana REX 521

Ochrana REX 521 je určena k chránění, ovládání, měření a monitorování sítí vysokého napětí. Typické aplikace zahrnují chránění přívodů a vývodů rozvoden i chránění vlastních rozvoden. Ochrana je vybavena měřicími vstupy pro klasické proudové a napěťové transformátory.

K dispozici jsou také HW verze se vstupy pro proudové a napěťové senzory. Ochrana pracuje na bázi multiprocesorové techniky. Jednotka rozhraní ovládání HMI1 (Human-Machine Interface) obsahuje LCD displej (displej s kapalnými krystaly), který pomocí různých zobrazených dat usnadňuje místní ovládání a současně prostřednictvím indikovaných hlášení/zpráv informuje uživatele. Moderní technologie je aplikována v řešení jak HW, tak i SW vybavení ochrany.

B. Měřicí vstupy

Jmenovitá frekvence		50,0/60,0 Hz	
Proudové vstupy	Jmenovitý proud		0,2 A/1 A/5 A
	Tepelná proudová přetížitelnost	trvalá	1,5 A/4 A/20 A
		po dobu 1 s	20 A/100 A/500 A
	Dynamická proudová přetížitelnost, hodnota jedné půlminy		50 A/250 A/1250 A
	Vstupní impedance		<750 mΩ/<100 mΩ/<20mΩ
Napěťové vstupy	Jmenovité napětí		100V/110V/115V/120V (parametrizace)
	Trvalá napěťová přetížitelnost		2 × U _n (240 V)
	Spotřeba při jmenovitém napětí		< 0,5 VA
Senzorové vstupy	Rozsah napětí (efektivní hodnota)		9,4 V (ef. hodnota)
	Rozsah napětí (špičková hodnota)		± 12 V
	Vstupní impedance		> 4,7 MΩ
	Vstupní kapacita		< 1 nF

Tabulka.4.5. Měřicí vstupy REX521

C. Aplikace

Tabulka 3.2-1 Standardní konfigurace ochrany REX 521

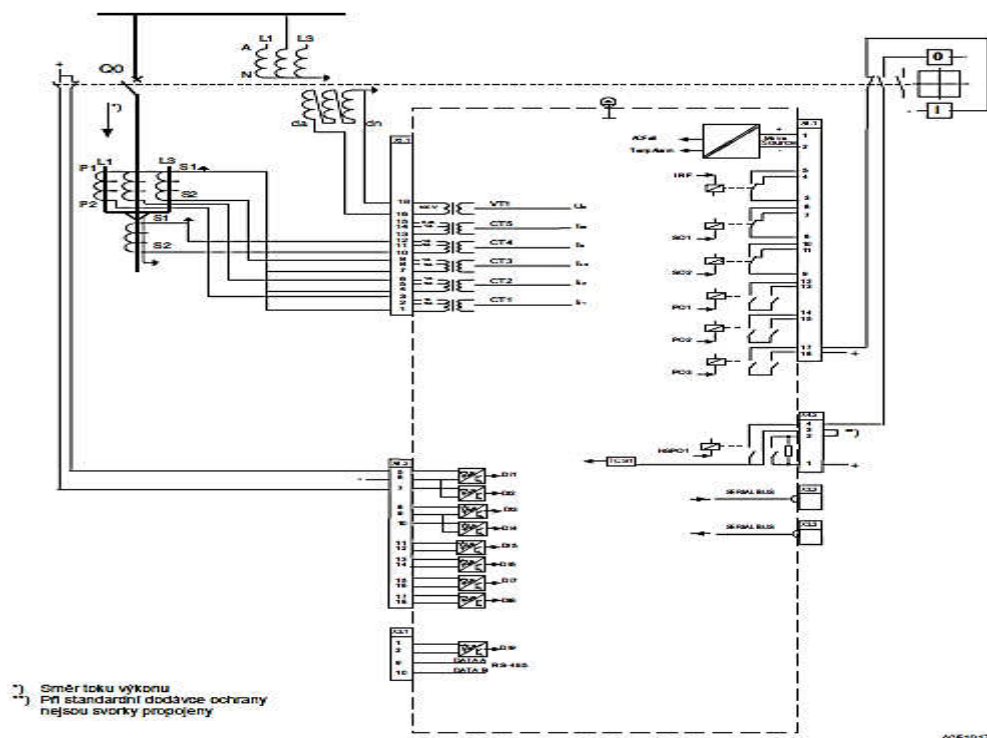
HW verze ochrany			Basic (Základní)		Medium (Střední)		High/Sensor (Vysílá Pro senzory)										
Standardní konfigurace			B01	B02	M01	M02	H01 ^a	H02	H03	H04	H05	H06	H07	H08 ^{bc}	H09 ^{bc}	H50 ^b	H51 ^b
IEC symbol	ANSI č. zařízení	Název FB (CD ROM)															
Ochranná funkce																	
3I>	51-1	NOC3Low	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3I>>	51-2	NOC3High	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3I>>>	51-3	NOC3Inst	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Io>	51N-1	NEF1Low	x	x						x ^d	x		x	x	x	x	x
Io>>	51N-2	NEF1High	x	x						x ^d	x		x	x	x	x	x
Io>>>	51N-3	NEF1Inst	x	x						x ^d	x		x	x			
Io>>> ^s	67N-1	DEF2Low			x	x	x	x	x							x	x
Io>>> ^s	67N-2	DEF2High			x	x	x	x	x							x	x
Io>>> ^s	67N-3	DEF2Inst			x	x	x	x	x								
3I>>> ^s	67-1	DOC6Low					x	x ^f									
3I>>> ^s	67-2	DOC6High					x	x ^f									
3U>	59-1	OV3Low									x	x	x	x	x	x	x
3U>>	59-2	OV3High									x	x	x	x	x	x	x
3U<	27-1	UV3Low									x	x	x	x	x	x	x
3U<<	27-2	UV3High									x	x	x	x	x	x	x
3I2F>	68	Inrush3	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	x
Iub>	46	CUB3Low	x	x	x	x	x	x	x								
3Ith>	49F	TOL3Cab	x	x	x	x	x	x	x								
O→I	79	AR5Func		x		x	x	x	x							x	x
Uo>	59N-1	ROV1Low									x	x		x	x	x	x
Uo>>	59N-2	ROV1High									x	x		x	x	x	x
Uo>>>	59N-3	ROV1Inst									x	x		x	x		
f1	81-1	Freq1St1						x		x		x	x		x	x	x
f2	81-2	Freq1St2									x				x	x	x
SYNC1	25-1	SCVCS1						x		x			x				
Is2t n<	49	MotStart												x			x
3I)	46R	PREV3												x			x
I2>	46-1	NPS3Low												x			x
I2>>	46-2	NPS3High												x			
3I<	37-1	NUC3St1												x			
FUSEF	60	FuseFail												x			x
3Ithdev>	49M/GT	Tol3Dev									x		x	x			x
U1U2<>_1	47-1	PSV3St1												x		x	x

Ochrana REX 521 je určena k chránění přívodů a vývodů v distribučních rozvodnách vysokého napětí. Kromě toho lze ochranu například aplikovat jako záložní ochranu výkonových transformátorů a záložní ochranu vysokonapěťových vedení.

Tabulka.4.6. Konfigurace ochrany REX521

D. Svorkovnicové schéma ochrany REX 521: Střední verze (Medium)

5.2.3. Svorkovnicové schéma ochrany REX 521: Střední verze (Medium)



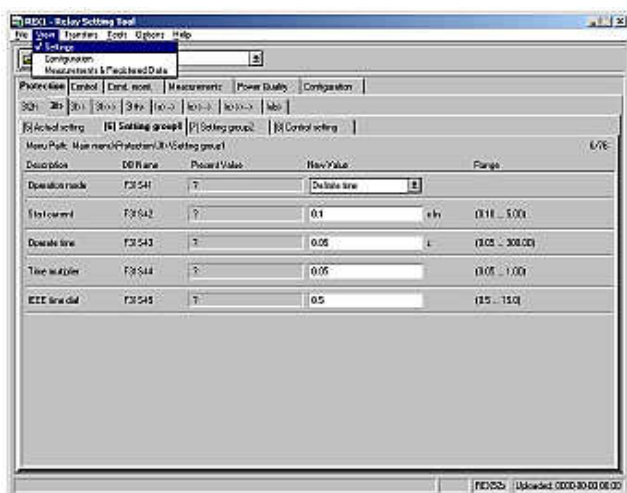
Obr.4.17. Svorkovnicové schéma ochrany REX 521

E. Technický popis

1. Parametrizace

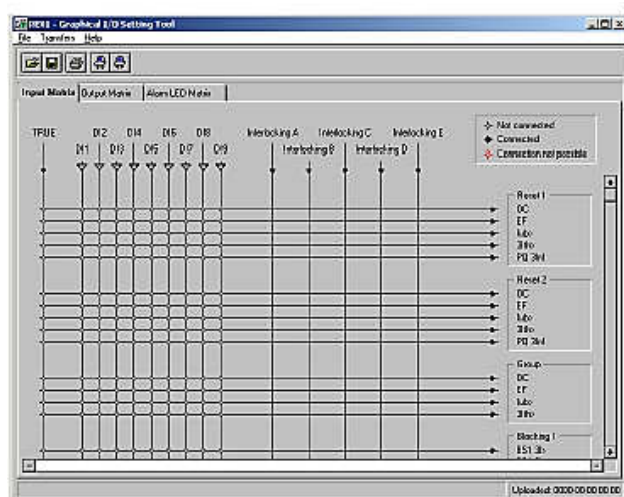
Aby bylo zajištěno, že funkční blok ochrany bude chránit příslušný vývod/přívod požadovaným způsobem, musí být standardně nastavené hodnoty parametrů zkontrolovány a nastaveny předtím, než bude tento funkční blok uveden do provozu. Parametry ochrany je možné nastavit buď místně prostřednictvím systému ovládání HMI, nebo externě prostřednictvím sériové komunikace a programu “Relay Setting Tool/Nástroj pro nastavení ochrany“ program CAP 501.

2. Externí parametrizace



Obr.4.18. CAP 501

3. Grafický program pro nastavení vstupů/výstupů

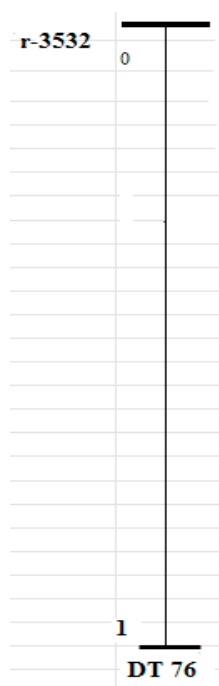


Obr.4.19. CAP 501

Pro externí parametrizaci ochrany se používá program “Relay Setting Tool/Nástroj pro nastavení ochrany“ a/nebo program “Graphical I/O Setting Tool/Grafický nástroj pro nastavení vstupů/výstupů“. Parametry lze nastavit pomocí PC a poté je zavést do ochrany prostřednictvím komunikačního portu. Struktura menu programového nástroje, včetně zobrazení, které se týká parametrizace a nastavení ochrany, je stejná, jako je struktura menu vlastní ochrany. Instrukce pro použití programového nástroje jsou uvedeny v uživatelské příručce “Tools for Relays and Terminals, User’s Guide“.

Aby byla externí parametrizace ochrany ještě jednodušší, je program Relay Setting Tool (Nástroj pro nastavení ochrany) doplněn specifickým programem Graphical I/O Setting Tool. Tento grafický nástroj pro nastavení vstupů a výstupů ochrany nabízí uživatelsky optimální prostředí pro lepší vizualizaci a usnadňuje získat kompletní přehled o nastavení ochrany. Tento program je použit pro nastavení vstupních přepínačových skupin, výstupních přepínačových skupin a přepínačových skupin výstražných LED diod. Instrukce pro použití tohoto programu jsou uvedeny v dokumentu “Tool for Relays and Terminals, User’s Guide“.

4.6. Parametry volného vedení



Stožáry ATMOfIX řady RV
Izolátory typ
volné vedení ALFe6
 I_{dov}
 Z

RV1,RV2
3310
185mm²
459 A
(0,191 + j0,38) Ω

délka vedení na mapě 1 :5000	
(-)	(cm)
0 - 1	135

Tabulka.4.7.Délka vedení

$$l = 135 \cdot \frac{5000}{100} = 6750 \text{ m}$$

$$I_c = 0,093 \cdot \frac{6750}{1000} = 0,628 \text{ A}$$

Ic volného vedení :			
	135	6750	m
max	V3532	0,628	A
min	V3532	0,628	A

Tabulka.4.8.I_c volného vedení

Obr.4.20. Jedno pólové schéma

4.7. Parametry kabelového vedení

kabely 35 CHUV

typ	r/km	x/km	z/km	I _c	I _{dov}	Délka v km
(mm)	(Ω)	(Ω)	(Ω)	(A/km)	(A)	
3 x 50 mm ²	0,393	0,132	0,415	3,430	215	
3 x 70 mm ²	0,277	0,122	0,302	3,940	252	4
3 x 95 mm ²	0,210	0,114	0,239	4,470	300	

Tabulka.4.9. Parametry kabelového vedení

4.8. Výpočet zkratových proudů

$S_{k, \max}'' = 347,21$ MVA
 $I_{k, \max}'' = 5,728$ kA
 $S_{k, \min}'' = 270,21$ MVA
 $I_{k, \min}'' = 4,457$ kA
 $x_{S \max} = 3,8809$ Ω
 $x_{S \min} = 4,5335$ Ω

$$x_{S \max} = \frac{c \cdot U_{zkratu}^2}{S_{\max 3f}''} = \frac{1,1 \cdot 35^2}{347,21} = 3,8809 \Omega$$

$$X_{S \min} = \frac{c \cdot U_{\text{zkratu}}^2}{S_{\min 3f}''} = \frac{1 \cdot 35^2}{270,21} = 4,5335 \Omega$$

Ic kabelových vedení			
DT 76	délka (km)	průřez	Ic
	4	70	15,7600

Tabulka.4.10. Ic kabelových vedení

l kabelu =	4	km
$Z_l =$	1,2099	Ω
$x_{c \min} =$	8,6142	Ω
$I_{k'' \min} =$	2,349	kA

Tabulka.4.11. Hodnot kabelu

max $l_v =$	6750	m
$Z_{lv} =$	2,8708	Ω
$x_{c \min \text{ ved}} =$	7,4043	Ω
$I_{K'' \min \text{ ved}} =$	2,732	kA

Tabulka.4.12. Hodnot vedení

$$Z_v = (0,191 + j0,38) \Omega / \text{km} \quad 6,75 \text{ km}$$

$$R_v = 0,191 \cdot 6,75 = 3,295 \Omega$$

$$X_v = 0,38 \cdot 6,75 = 2,565 \Omega$$

$$Z_k = (0,277 + j0,122) \Omega / \text{km} \quad 4 \text{ km}$$

$$R_k = 0,277 \cdot 4 = 1,108 \Omega$$

$$X_k = 0,122 \cdot 4 = 0,488 \Omega$$

$$Z_{C \min \text{ ved}} = \sqrt{R_v^2 + (X_{S \min} + X_v)^2} = \sqrt{3,295^2 + (4,5335 + 2,565)^2} = 7,823 \Omega$$

$$Z_{C \text{ kab}} = \sqrt{(3,295 + 1,108)^2 + (4,5335 + 2,565 + 0,488)^2} = 8,772 \Omega$$

$$I_{K'' \min \text{ ved}} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot x_{C \min \text{ ved}}} = \frac{1 \cdot 35}{\sqrt{3} \cdot 7,823} = 2,583 \text{ kA}$$

$$I_{K'' \min} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot x_{C \min}} = \frac{1 \cdot 35}{\sqrt{3} \cdot 8,772} = 2,303 \text{ kA}$$

$$I_{K'' \min 2f} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K \min \text{ kab } 3f} = 0,866 \cdot 2,303 = 1,994 \text{ kA}$$

$$I_{C \max} = I_{C \text{ ved}} + I_{C \text{ kab}} = 0,628 + 15,76 = 16,388 \text{ A}$$

$$t_{\text{vyp}} = \left[\frac{K \cdot S}{I_{K \max}} \right]^2 = \left[\frac{84 \cdot 185}{5,728 \cdot 1000} \right]^2 = 7,36 \text{ sec}$$

Ik''max ved3f =	5,728	kA	konec vedení
Ik''min kab3f =	2,303	kA	
Ik''min2f =	1,994	kA	
Ic max =	16.388	A	součet pro obě vedení
Ic min =	0.628	A	součet pro obě vedení

Tabulka.4.13. Vypočtených hodnot vedení a kabelu

kontrola volného vedení na dovolené oteplení při zkratu :

t max vyp =	7,36	sec
--------------------	-------------	------------

Tabulka.4.14. Vypočtené hodnoty vypínacího času

4.9. Výsledky výpočtů

	Ic max	Ic min	Ik''min kab3f	Ik''min2f
	(A)	(A)	(kA)	(kA)
V3532	28,84	1,26	2,35	2,03

Tabulka.4.15. Výsledky výpočtu

Ic max - kapacitní proud sítě, kdy jsou zapnuty všechna volná vedení a zadané kabely 35 kV

Ic min - kapacitní proud sítě, kdy jsou zapnuta jen volná vedení 35 kV

Ik'' min3f - minimální třífázový rázový zkratový proud při zkratu na konci vedení včetně kabelu 35 kV

Ik'' min2f - minimální dvoufázový rázový zkratový proud při zkratu na konci vedení včetně nejdelšího kabelu 35 kV

4.10. Nastavení zkratového proudu na ochraně REF 545

MTP	prim	sek	pi	In ochrany
	400	1	400	1

Tabulka.4.16. Hodnot MTP TR1 3532

NOC3High , 3I >>

Třífázová nesměrová nadproudová funkce , stupeň s vyšším rozsahem seřaditelnosti

parametr	values	unit	setting settings	setting group 1	setting group 2
operate mode	0 .. 2 ^{*)}	-	1	1	1
start current	0,10..40,00	x In	3,00	3,00	3,00
operate time	0,05..300,0	sec	1,6	1,6	1,6
real values current	-	A	1200	1200	1200

^{*)} operation mode 0 = Not in use ; 1 = Definite time ; 2 = Instantaneous

Tabulka.4.17. Hodnot nastavených v ochraně REF545

4.11. Nastavení zkratového proudu na ochraně REX 521

MTP	prim	sek	pi	In ochrany
	200	1	200	1

Tabulka.4.18. Hodnot MTP DT 76

NOC3High , 3I >>

Třífázová nesměrová nadproudová funkce , stupeň s vyšším rozsahem seřaditelnosti

parametr	values	unit	setting settings
operate mode	0 .. 2 ^{*)}	-	1
start current	0,10..40,00	x In	2,50
operate time	0,05..300,0	sec	0,05
real values current	-	A	500

^{*)} operation mode

0 = Not in use ; 1 = Definite time ; 2 = Instantaneous

Tabulka.4.19. Hodnot nastavených v ochraně REX521

5. Závěr

Výpočet zkratů byl prováděn postupně od zdroje zkratových příspěvků, kterým je rozvodna TR1. Data zkratových příspěvků nadřazené soustavy byla poskytnuta z dokumentace rozvodny TR1.

A. Zkratý na TR1

Zkratý na TR1 110/35 kV jsou vypočteny na přípojnicí 110 kV a na přípojnicí 35 kV jsou níže uvedeny. Výsledek tohoto výpočtu je použit jako základ pro výpočet zkratů na vedeních 35 kV připojených na TR1 Bílina 35 kV.

1) Zkratý na přípojnicí 110 kV :

$$\begin{array}{ll} S_{k, \max}'' = 6190 \text{ MVA} & S_{k, \min}'' = 1657 \text{ MVA} \\ I_{k, \max} = 32,5 \text{ kA} & I_{k, \min} = 8,7 \text{ kA} \end{array}$$

2) Zkratý na přípojnicí 35 kV :

$$\begin{array}{ll} S_{k, \max}'' = 347,21 \text{ MVA} & S_{k, \min}'' = 270,21 \text{ MVA} \\ I_{k, \max} = 5,73 \text{ kA} & I_{k, \min} = 4,46 \text{ kA} \end{array}$$

B. Selektivita

Selektivita jištění volného vedení a kabelového vedení je provedena jednak proudově a časově. Proudově tím že na vývodové ochraně mobilní rozvodny DT 76 je nastaven nižší zkratový proud než v rozvodně TR 1. Časově tak že je nastaven kratší čas v mobilní rozvodně DT 76 a delší čas je nastaven v rozvodně TR 1.

Použitá literatura

1. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
2. <http://www.pre.cz/pre/nase-spolecnost/vice-o-pre/historie/kapitola-1-prumyslova-revoluce-pocatky-elektrizace.html>
3. Grym, R. Hochman, P. Machon, J. Bermann, J. Cichoň, B.: Chránění II. IRIS 2004.
4. ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách. Květen 2002.
5. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
6. http://cs.wikipedia.org/wiki/Nadproudová_ochrana
7. http://cs.wikipedia.org/wiki/Zkrat/Vznik_zkratu
8. Dokumentace rekonstrukce kobek TR1-35kV I-Etapa
9. Dokumentace rekonstrukce kobek TR1-35kV II-Etapa
10. Dokumentace rekonstrukce kobek TR1-35kV III-Etapa
11. Dokumentace rekonstrukce kobek TR1-35kV IV-Etapa
12. Dohnálek, P.: Technika ochran 1a 2. SNTL, Praha 1991
13. Petr Krejčí :Cvičení z Elektroenergetiky

Seznam obrázků

1. Obr. 2.1 Primární nadproudová ochrana
2. Obr. 2.2 Nadproudový vypínací přístroj z roku 1900
3. Obr. 2.3 Vazba ochrany a chráněného objektu
4. Obr.2.4. Princip uzavřené smyčky chránění
5. Obr.3.1.Trojčlenný zkrat
6. Obr.3.2.Trojčlenný zemní zkrat
7. Obr.3.3. Dvojčlenný zkrat
8. Obr.3.4. Dvojčlenný zemní zkrat
9. Obr.3.5. Jednofázový zkrat
10. Obr.3.6. Simultánní zkrat
11. Obr.3.7. Průběh nesouměrného zkratového proudu
12. Obr.3.8. Efektivní hodnota souměrného zkratového proudu
13. Obr.3.9. Efektivní hodnota souměrného zkratového proudu
14. Obr.4.1 Jednočlenné schéma rozvodny R2 a označení kobky č.3532
15. Obr.4.2 Transformátor napětí s pojistkou
16. Obr.4.3 Jednočlenný izolovaný transformátor se dvěma sekundárními vinutími
17. Obr.4.4 Přípojnicový trojčlenný odpojovač
18. Obr.4.5 Vakuové zhasiče Pól vypínače
19. Obr.4.6.Diagram dovolených sepnutí
20. Obr.4.7. Transformátory proudu pro vnitřní prostředí
21. Obr.4.8. Provedení se dvěma sekundárními vynutími
22. Obr.4.9.Ochrana REF545
23. Obr.4.10 Svorkovnicové schéma ochranyREF545
24. Obr.4.11 Jednočlenné schéma DT 76 35kV
25. Obr.4.12. Sestava rozvaděče Safe Plus
26. Obr.4.13. Jednočlenné schéma Safe Plus
27. Obr.4.14. Dovoleno počet spínacích funkcí rozvaděče Safe Plus C a V
28. Obr.4.15. Provedení se dvěma sekundárními vynutími
29. Obr.4.16. Ochrana REX 521
30. Obr.4.17. Svorkovnicové schéma ochrany REX 521
31. Obr.4.18. CAP 501
32. Obr.4.19. CAP 501
33. Obr.4.20. Jedno členné schéma

Seznam tabulek

1. *Tabulka.2.1. Hodnoty konstant α a β*
2. *Tabulka.3.1. Napěťový součinitel (c)*
3. *Tabulka.4.1. Hodnoty vakuové vypínače QM*
4. *Tabulka.4.2. Jmenovité hodnoty vakuové vypínače QM*
5. *Tabulka.4.3. Ochranné funkce REF545*
6. *Tabulka.4.4. Ochranná funkce NOC3High, 3I>>> REF545*
7. *Tabulka.4.5. Měřicí vstupy REX521*
8. *Tabulka.4.6. Konfigurace ochrany REX521*
9. *Tabulka.4.7. Délka vedení*
10. *Tabulka.4.8. I_c volného vedení*
11. *Tabulka.4.9. Parametry kabelového vedení*
12. *Tabulka.4.10. I_c kabelových vedení*
13. *Tabulka.4.11. Hodnot kabelu*
14. *Tabulka.4.12. Hodnot vedení*
15. *Tabulka.4.13. Vypočtených hodnot vedení a kabelu*
16. *Tabulka.4.14. Vypočtené hodnoty vypínacího času*
17. *Tabulka.4.15. Výsledky výpočtu*
18. *Tabulka.4.16. Hodnot MTP TR1 3532*
19. *Tabulka.4.17. Hodnot nastavených v ochraně REF545*
20. *Tabulka.4.18. Hodnot MTP DT 76*
21. *Tabulka.4.19. Hodnot nastavených v ochraně REX521*